



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

## **Controlo da Fermentação do Mosto e das Condições Ambientais de uma Sala de Lagares**

**RÚBEN FILIPE MARTINHO MENA**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

**Orientador:**

Especialista João Manuel Vinhas Frade

**Júri:**

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho  
Especialista João Manuel Vinhas Frade

**dezembro de 2015**



## **Agradecimentos**

Esta dissertação representa o culminar de um objetivo pessoal e académico, que apesar de ser um trabalho de carácter individual, não seria possível a sua realização sem o auxílio de algumas pessoas e instituições.

Ao meu orientador, Professor Especialista João Manuel Vinhas Frade, quero agradecer todo o apoio, disponibilidade e orientação na elaboração deste trabalho final de Mestrado, como também, todos os conhecimentos transmitidos durante o meu percurso académico enquanto aluno do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Ao Instituto da Vinha e do Vinho, I. P., na pessoa da Dr.<sup>a</sup> Natividade Anastácio, que possibilitou a pesquisa, análise e recolha de alguma informação na fase inicial do trabalho.

Aos meus pais, por tudo, pela perseverança, apoio, auxílio, compreensão, não só durante o meu percurso académico, mas desde sempre.

Aos meus avós, pelo encorajamento, amizade e pelos valores transmitidos para a minha educação.

À Carolina, pela cumplicidade, pelo seu incansável incentivo e pelo seu companheirismo, também à sua família, pelo amparo e ajuda, em especial nesta fase final do curso.

Quero também agradecer ao meu irmão, amigos e colegas, pela irmandade, cooperação e camaradagem.

Por fim, quero agradecer a toda a comunidade ISEL.



À memória de Manuel Martinho,  
meu avô, por tudo o que representou e  
representa para mim, por muitas e boas razões.



## Resumo

O carácter e a qualidade ímpar dos vinhos portugueses fazem de Portugal uma referência entre os demais países produtores. Para se produzir um bom vinho é preciso que diversos fatores se conjuguem, no entanto, a conservação das qualidades sensoriais passa, em grande medida, pela existência de condições de fermentação apropriadas. O aperfeiçoamento desta etapa da vinificação passa fundamentalmente por garantir uma temperatura apropriada, permitindo melhorar a viabilidade dos microrganismos responsáveis pela fermentação, conseguindo melhorar o grau alcoólico final e controlar eficazmente a velocidade da reação.

A fermentação alcoólica deve-se então desenrolar a temperatura controlada, dependendo o valor desta, função do tipo de vinho a produzir e pode ocorrer durante um período variável. Neste trabalho foi abordado o desenvolvimento deste processo em 5, 8 e 12 dias.

Sendo caracterizada por ser a parte mais complexa e importante do processo de produção de vinho, de uma forma grosseira, a fermentação alcoólica resume-se à transformação do açúcar das uvas em álcool, com a libertação de grandes quantidades de CO<sub>2</sub>. A exposição ao CO<sub>2</sub> libertado é um dos principais riscos profissionais nas adegas, responsável por muitos acidentes. É recomendável um bom arejamento da adega.

Neste sentido, de forma a ir ao encontro dos parâmetros para um bom cumprimento do controlo da fermentação e das necessidades de ventilação, o objetivo deste trabalho culminou no desenvolvimento de metodologias de cálculo para definição, de uma forma genérica, das potências necessárias ao controlo da fermentação e à criação de condições ambientais de segurança e higiene em salas de lagares. Será igualmente abordada a temática para diversos locais de Portugal continental possíveis para a localização da adega.

**Palavras-chave:** Fermentação Alcoólica, Controlo Térmico, CO<sub>2</sub>, Ventilação, Refrigeração



## **Abstract**

The character and the unique quality of Portuguese wines make Portugal a reference among the other producing countries. To produce a good wine it is necessary to combine many factors, however, the conservation of its qualities depends a lot on the availability of appropriate fermentation conditions. The further development of the winemaking step basically is to ensure an appropriate temperature, thereby improving the viability of the microorganisms responsible for fermentation, able to improve the final alcohol content and effectively control the reaction rate.

Fermentation must then conduct a controlled temperature, depending on the value of this, depending on the type of wine to produce and can occur over a variable period. In this study the development of this process has been approached in 5, 8 and 12 days.

Is characterized by being more complex and important part of the winemaking process, a crude form, the fermentation comes down to the transformation of grape sugar alcohol, the release of large amounts of CO<sub>2</sub>. The exposure to the released CO<sub>2</sub> is a major occupational hazards in the cellars, responsible for many accidents. It is recommended a good cellar aeration.

In this sense, in order to meet the criteria for a good compliance monitoring fermentation and ventilation needs, the objective of this work culminated in the development of calculation methods for defining, in general terms, the necessary powers to control the fermentation and the creation of environmental conditions of safety and hygiene in wine presses rooms. Will also approached the theme for many places of Portugal continental possible for the wine cellar location.

**Keywords:** Alcoholic Fermentation, Thermal Control, CO<sub>2</sub>, Ventilation, Refrigeration



## Résumé

Le caractère et la qualité exceptionnelle des vins portugais font du Portugal une référence parmi les autres producteurs. Pour produire un bon vin, il faut conjuguer divers facteurs, cependant, la conservation des qualités sensorielles passe, en grande partie, par l'existence de conditions de fermentation appropriées. L'amélioration de cette étape de la vinification passe fondamentalement par garantir une température appropriée, permettant améliorer la viabilité des micro-organismes responsables de la fermentation, en réussissant améliorer le degré alcoolique final et contrôler efficacement la vitesse de la réaction.

La fermentation alcoolique doit alors se faire à une température contrôlée, dont la valeur dépend de celle-ci, fonction du type de vin à produire et cela peut arriver pendant une période variable. Ce travail a traité le développement de ce processus en 5, 8 et 12 jours.

Étant caractérisée comme la partie la plus complexe et importante du processus de la production du vin, grosso modo, la fermentation alcoolique se résume à la transformation du sucre du raisin en alcool, avec la libération de grandes quantités de CO<sub>2</sub>. L'exposition au CO<sub>2</sub> libéré est un des principaux risques professionnels dans les caves, responsable de beaucoup d'accidents. Une bonne ventilation de la cave est recommandée.

Dans ce sens, de façon à atteindre les paramètres pour une bonne réalisation du contrôle de la fermentation et des nécessités de ventilation, l'objectif de ce travail a culminé dans le développement de méthodologies de calcul de définition, de façon générique, des puissances nécessaires au contrôle de la fermentation et à la création de conditions de l'environnement de sécurité et d'hygiène dans les salles de pressoir. La thématique pour différents endroits possibles du Portugal continental pour la localisation de caves sera aussi abordée.

**Mots-clés:** Fermentation Alcoolique, Contrôle Thermique, CO<sub>2</sub>, Ventilation, Réfrigération



## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Designação</b>	<b>Página*</b>
USDA	United States Department of Agriculture	2
CE	Comissão Europeia	4
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono	5
GL	Unidade de teor alcoólico (Abreviatura de Gay-Lussac)	15
ANSI	American National Standards Institute	30
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers	30
OMS	Organização Mundial de Saúde	31
GPAF	Grupo Produtor de Água Fria	33
DOC	Denominação de Origem Controlada	34
RC	Reguladores de Caudal	41
AN	Ar Novo	41
CA	Câmara de Admissão	41
CF	Câmara de Filtragem	41
CM	Câmara de Mistura	41
GV	Grupo Ventilador	41
AI	Ar de Insuflação	41
BAF	Bateria de Água Fria	41
FB	Fator de <i>Bypass</i>	41
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo	41
ADP	Apparatus Dew Point	43
EER	Eficiência Energética em Arrefecimento	47
UTA	Unidade de Tratamento de Ar	48

\* Refere-se à primeira ocorrência



## Glossário de Símbolos

Símbolo	Unidade	Grandeza
$T_{int.}$	$^{\circ}C$	Temperatura zona de lagares
$\varphi_{int.}$	%	Humidade relativa zona de lagares
$P_v$	$Pa$	Pressão parcial do vapor
$P_{sat.}$	$Pa$	Pressão de saturação
$P_a$	$Pa$	Pressão parcial do ar seco
$P_{atm}$	$Pa$	Pressão atmosférica
$R_a$	$J/(kg.K)$	Constante universal dos gases perfeitos para o ar seco
$v_a$	$m^3/kg$ ar seco	Volume específico do ar seco
$v_{int.}$	$m^3/kg$ ar seco	Volume específico zona de lagares
$m_{adega}$	$kg$ ar seco	Massa de ar seco zona de lagares
$V_{adega}$	$m^3$	Volume zona de lagares
$m_{CO_2}$	$kg$ de $CO_2$	Massa de $CO_2$ proveniente do ar exterior
$\dot{m}_{ar}$	$kg/h$	Caudal mássico de ar
$\dot{V}$	$m^3/h$	Caudal volumétrico de ar
$R_{ph}$	$renov./h$	Número de renovações horárias
$\dot{Q}_{Ferm.}$	$W$	Dissipação de calor da fermentação alcoólica
$\dot{Q}_{BAF}$	$W$	Capacidade total da bateria de arrefecimento
$\dot{Q}_F$	$W$	Capacidade frigorífica
$T_{9h}$	$^{\circ}C$	Temperatura 9h
$\varphi_{9h}$	%	Humidade relativa 9h
$T_{18h}$	$^{\circ}C$	Temperatura 18h
$\varphi_{18h}$	%	Humidade relativa 18h
$\omega_{18h}$	$g/kg$ ar seco	Humidade específica 18h
$\omega_{ext.}$	$g/kg$ ar seco	Humidade específica exterior
$T_{ext.}$	$^{\circ}C$	Temperatura exterior
$\varphi_{ext.}$	%	Humidade relativa exterior
$\dot{Q}_{tAN}$	$W$	Cargas térmicas de ar novo

$\dot{Q}_{tL}$	$W$	Ganhos de calor do local
$\dot{Q}_{sAN}$	$W$	Calor sensível de ar novo
$\dot{Q}_{lAN}$	$W$	Calor latente de ar novo
$\omega_{int.}$	$g/kg$ ar seco	Humidade específica zona de lagares
$\dot{Q}_{sPess.}$	$W$	Calor sensível do ser humano
$\dot{Q}_{lPess.}$	$W$	Calor latente do ser humano
$\dot{Q}_{sIllum.}$	$W$	Calor sensível da iluminação
$\dot{Q}_{sInt.}$	$W$	Calor sensível interior
$\dot{Q}_{lInt.}$	$W$	Calor latente interior
$\dot{Q}_{Env.}$	$W$	Cargas térmicas da envolvente
$U$	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	Coefficiente global de transmissão de calor
$A_{Total}$	$m^2$	Área total equivalente
$\dot{Q}_{sL}$	$W$	Ganhos de calor sensível do local
$\dot{Q}_{lL}$	$W$	Ganhos de calor latente do local
$FB$	-	Fator de <i>bypass</i>
$T_{adp}$	$^\circ C$	Temperatura equivalente de superfície da BAF
$f_{csel}$	-	Fator de calor sensível efetivo
$\dot{Q}_{sEL}$	$W$	Carga sensível efetiva do local
$\dot{Q}_{tEL}$	$W$	Carga latente efetiva do local
$T_B$	$^\circ C$	Temperatura à saída da BAF
$T_I$	$^\circ C$	Temperatura de insuflação
$\omega_I$	$g/kg$ ar seco	Humidade específica de insuflação
$f_{csl}$	-	Fator de calor sensível do local
$\varphi_{int.R}$	%	Humidade relativa interior real
$\dot{m}_A$	$kg/h$	Caudal mássico de ar que não passa na bateria
$\dot{m}_B$	$kg/h$	Caudal mássico de ar que passa na bateria
$h_{ext.}$	$J/kg$	Entalpia específica do ar exterior
$h_B$	$J/kg$	Entalpia específica do ar à saída da BAF
$\dot{W}_F$	$W$	Potência elétrica do GPAF
$\dot{W}_{Vent.}$	$W$	Potência elétrica de ventilação

$\dot{W}_{El.}$	$W$	Potência elétrica necessária
$EER$	-	Eficiência energética em arrefecimento
$\dot{W}_{Ins.}$	$W$	Potência de ventilação de insuflação
$\dot{W}_{Extr.}$	$W$	Potência de ventilação de extração



# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>I</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VII</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abreviaturas</b> .....	<b>XI</b>
<b>Glossário de Símbolos</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>XIX</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>XXI</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>1</b>
A Importância do Setor Vitivinícola em Portugal.....	1
A Temática e a sua Relevância .....	4
Objetivo da Dissertação .....	5
Estrutura da Dissertação.....	6
<b>Capítulo 1: Vinho – Aspetos da sua produção</b> .....	<b>7</b>
1.1. Fases da Produção com vantagens da aplicação de Refrigeração.....	9
1.2. Fermentação Alcoólica .....	13
1.3. Controlo térmico da Fermentação Alcoólica .....	15
<b>Capítulo 2: Critérios Gerais</b> .....	<b>19</b>
2.1. Condições e Pressupostos de Cálculo .....	19
2.2. Determinação do Volume de Referência (mosto).....	20
2.3. Equação da Fermentação .....	22
2.4. Perdas na Zona de Lagares (Fermentação) .....	23
<b>Capítulo 3: Fermentação Alcoólica em 5 dias</b> .....	<b>25</b>
3.1. Perdas na Zona de Lagares (Dia de Pico de Fermentação).....	26
3.2. Determinação das Necessidades de Ventilação para a Zona de Lagares.....	27
3.3. Determinação da Capacidade Frigorífica para a Zona de Lagares .....	33
3.4. Determinação da Potência Elétrica para a Zona de Lagares.....	47
<b>Capítulo 4: Fermentação Alcoólica em 8 dias</b> .....	<b>53</b>
4.1. Perdas na Zona de Lagares (Dia de Pico de Fermentação).....	54
4.2. Determinação das Necessidades de Ventilação para a Zona de Lagares.....	55
4.3. Determinação da Capacidade Frigorífica para a Zona de Lagares .....	57
4.4. Determinação da Potência Elétrica para a Zona de Lagares.....	62

<b>Capítulo 5: Fermentação Alcoólica em 12 dias</b> .....	<b>65</b>
5.1. Perdas na Zona de Lagares (Dia de Pico de Fermentação).....	66
5.2. Determinação das Necessidades de Ventilação para a Zona de Lagares.....	67
5.3. Determinação da Capacidade Frigorífica para a Zona de Lagares.....	69
5.4. Determinação da Potência Elétrica para a Zona de Lagares.....	73
<b>Capítulo 6: Análise de Resultados</b> .....	<b>77</b>
6.1. Caso de Estudo em Santarém.....	80
6.2. Casos de Estudo em certos locais de Portugal Continental.....	82
<b>Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros</b> .....	<b>87</b>
Propostas de Trabalhos Futuros.....	90
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>91</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>95</b>
Anexo A: Massa molar, constante universal de gás perfeito e propriedades de ponto crítico.....	97
Anexo B: Valores limite de exposição, com critérios profissionais, para diversos agentes contaminantes.....	101
Anexo C: Estatísticas Climatológicas de Santarém.....	105
Anexo D: Normal Climatológica de Santarém.....	109
Anexo E: Condições Exteriores Santarém.....	113
Anexo F: Evolução Psicrométrica Santarém (5 Dias Fermentação).....	117
Anexo G: Etapas de seleção e dimensionamento da Unidade de Insuflação.....	121
Anexo H: Etapas de seleção e dimensionamento da Unidade de Extração.....	127
Anexo I: Evolução Psicrométrica Santarém (8 Dias Fermentação).....	133
Anexo J: Evolução Psicrométrica Santarém (12 Dias Fermentação).....	137
Anexo K: Evoluções Psicrométricas conforme a localização (5 Dias Fermentação)...	141
Anexo L: Esquema do Sistema de Climatização para a Zona de Lagares.....	157

## Índice de Figuras

Figura 1: Evolução da produção de vinho em Portugal Continental entre 1883 e 2013 em volume .....	1
Figura 2: Peso dos dez principais mercados de destino da expedição/exportação entre Janeiro a Dezembro de 2013 .....	2
Figura 3: Mapa vitivinícola de Portugal .....	3
Figura 4: Peso da produção de vinho português por região .....	3
Figura 5: Fluxograma de processos da produção de vinhos brancos, tintos e rosés .....	8
Figura 6: Esquema representativo de um Permutador de calor tubular.....	11
Figura 7: Temperaturas típicas durante uma fermentação alcoólica de 10 dias na vinificação de vinho tinto .....	16
Figura 8: Exemplo de curvas de fermentação .....	21
Figura 9: Rotas do vinho do Ribatejo.....	34
Figura 10: Representação da metodologia empregue para obtenção das propriedades do ar exterior.....	36
Figura 11: Exemplo do tipo da Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN).....	41
Figura 12: Mistura de caudais provocada pelo <i>bypass</i> artificial .....	45
Figura 13: Constituição da Unidade de Insuflação selecionada através do <i>software</i> .....	50
Figura 14: Constituição da Unidade de Extração selecionada através do <i>software</i> .....	51



## Índice de Tabelas

Tabela 1: Importância das condições ambientais e da ventilação na vinificação.....	10
Tabela 2: Importância do controlo de temperatura e efeitos no mosto/vinho na vinificação de vinho branco ou tinto .....	12
Tabela 3: Dados da fermentação alcoólica em 5 dias.....	25
Tabela 4: Valores, de calor sensível e latente, emitidos pelo ser humano em função da temperatura seca do local e da atividade desenvolvida .....	38
Tabela 5: Valores típicos da densidade de iluminação para ganhos de calor internos...	38
Tabela 6: Fatores de <i>bypass</i> típicos para diferentes aplicações.....	41
Tabela 7: Dados da fermentação alcoólica em 8 dias.....	53
Tabela 8: Dados da fermentação alcoólica em 12 dias.....	65
Tabela 9: Perdas na zona de Lagares .....	77
Tabela 10: Necessidades de ventilação para a zona de lagares .....	78
Tabela 11: Números de renovações horárias em locais industriais .....	79
Tabela 12: Número de renovações horárias numa sala de lagares .....	80
Tabela 13: Necessidades energéticas mínimas para a sala de lagares .....	80
Tabela 14: Condições exteriores definidas para os diversos locais.....	83
Tabela 15: Necessidades energéticas mínimas para a sala de lagares conforme a localização .....	83



# Introdução

## A Importância do Setor Vitivinícola em Portugal

O setor vinícola tem grande relevância, quer a nível económico, social ou até mesmo cultural para Portugal. Com mais ou menos percalços (Figura 1), o vinho em Portugal conseguiu sempre sobressair no panorama agrícola nacional, sendo dos produtos mais conhecidos e apreciados internacionalmente.

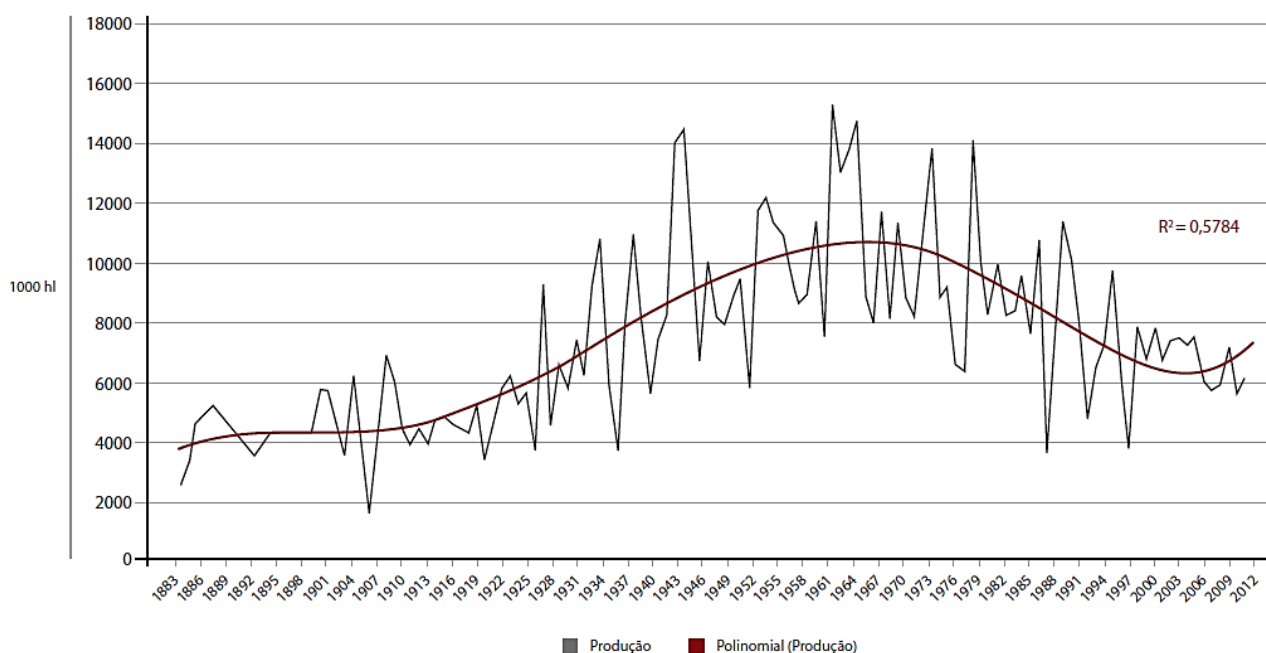


Figura 1: Evolução da produção de vinho em Portugal Continental entre 1883 e 2013 em volume [1].

Atualmente, Portugal é reconhecido pela qualidade e variedade dos seus vinhos, baseados maioritariamente nas castas próprias do país. Ao longo de 2013 e 2014 os vinhos portugueses foram distinguidos em prestigiados concursos internacionais [2]. Este reconhecimento valoriza a constante dedicação dos produtores nacionais que têm conseguido acompanhar os desenvolvimentos que surgem neste setor, apesar dos aumentos das exigências dos consumidores e da concorrência entre mercados.

O vinho português é caracterizado por ser diferente e único, baseado, como foi dito anteriormente, pela diversidade e singularidade das suas castas, mas também pelos seus *terroirs* e também por uma qualidade muito consistente associada a uma boa relação qualidade-preço.

A reputação internacional dos vinhos portugueses é assim incontestável, as exportações destes demonstram o dinamismo da indústria vinícola nacional (Figura 2).

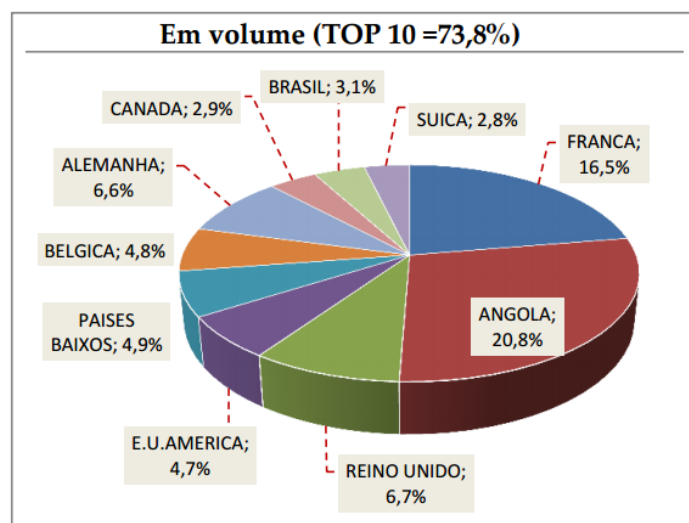


Figura 2: Peso dos dez principais mercados de destino da expedição/exportação entre Janeiro a Dezembro de 2013 [3].

Segundo o relatório anual e estatístico de 2014 da USDA [4] Portugal é o quinto maior produtor de vinho da União Europeia com uma produção estimada de 6,7 Mhl em 2013, 10% maior que no ano anterior, consequência de um período de floração sem grandes incidentes, especialmente nas regiões do Tejo, Lisboa e Península de Setúbal.

Como é possível visualizar através da Figura 3, Portugal está dividido em 14 principais regiões produtoras de vinho de alta qualidade. Consegue-se evidenciar que é no interior e próximo do rio Douro que se encontram as vinhas que produzem o mais famoso vinho português: o vinho do Porto. Contudo, nos dias de hoje, sem desvalorizar o vinho do Porto, Portugal tem muito mais para oferecer no setor vinícola, cada região produtora tem vinhos de excelente qualidade, elaborados com tecnologia atual e a partir de castas nacionais provenientes de vinhas cheias de história.



Figura 3: Mapa vitivinícola de Portugal [5].

Sendo as regiões vitivinícolas do Douro, Alentejo, Lisboa e Vinho Verde as principais regiões produtoras de vinho (Figura 4).

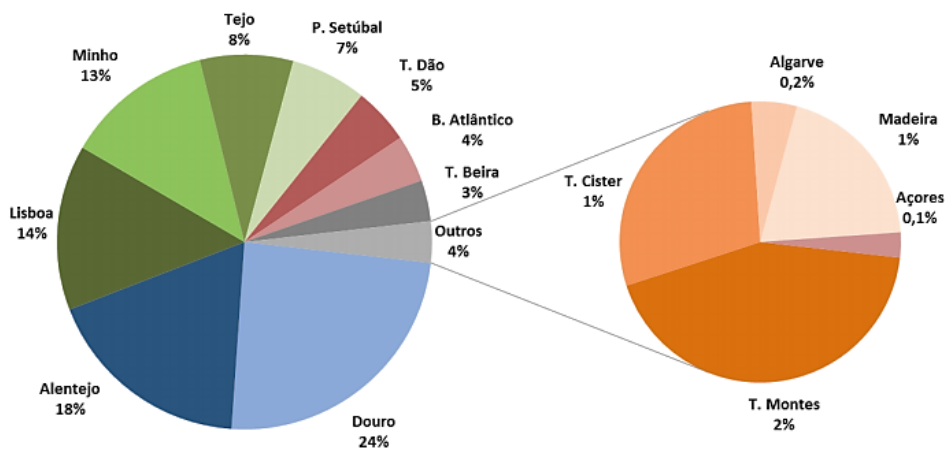


Figura 4: Peso da produção de vinho português por região [6].

Para além do que foi mencionado anteriormente, a mão de obra aplicada neste setor ao longo do tempo, a sua importância histórica e económica para o país, aliada ao

seu reconhecimento internacional, são motivos mais do que suficientes para a realização deste estudo.

### **A Temática e a sua Relevância**

De acordo com o Regulamento (CE) N.º 479/2008 [7] define-se por “vinho” o produto obtido exclusivamente por fermentação alcoólica, total ou parcial, de uvas frescas, esmagadas ou não, ou de mostos de uvas. Em Peynaud [8], consegue-se encontrar uma definição de cariz mais enológico. Este define por “vinho” a bebida proveniente da fermentação pelas células de leveduras e também, em certos casos, pelas células das bactérias lácticas, do sumo do esmagamento ou maceração das uvas.

De acordo com Jackson [9], o vinho incorpora dois ingredientes principais: a água e o etanol. Contudo o carácter base deste resulta da combinação de diversas substâncias químicas.

O vinho resulta de um processo extremamente complexo, que possui etanol, ácidos orgânicos, glucose, frutose, glicerol, compostos fenólicos, proteínas e polissacarídeos como constituintes base, sendo a sua qualidade derivada do clima, do solo, da casta, das condições de cultivo, da vindima e da vinificação. Segundo Flanzky [10], o cultivo, a proteção racional da vinha, da uva, a alteração dos modos executar a vindima, o desenvolvimento das condições de produção e conservação constituem alguns aspetos a ter em consideração para garantir um vinho de alta qualidade. Agentes como estes valorizam o produto, a utilização e aperfeiçoamento das técnicas e tecnologias eficazes no sentido da exploração das características das uvas e da sua valorização nos vinhos é dos aspetos mais desafiantes tanto para enólogos ou vitivicultores.

As reações químicas e biológicas que interferem na qualidade do vinho são muito variadas e originam diversos compostos, condicionando assim as características organolépticas do produto final. Portanto, a produção de vinho necessita de controlo desde a chegada das uvas à adega até ao engarrafamento deste como produto final.

A conservação das qualidades sensoriais passa então, em grande medida, pela existência de condições de fermentação adequadas, visto que é nesta fase que se pode interferir de forma mais significativa. O controlo de qualidade de vinho e mosto é cada vez mais uma necessidade, fundamentalmente pela variabilidade de compostos químicos que se geram durante a fermentação. O apuramento deste processo passa essencialmente por asseverar uma temperatura apropriada, de modo a melhorar a

viabilidade dos microrganismos responsáveis pela fermentação, conseguindo melhorar o grau alcoólico final e controlar eficazmente a velocidade da reação.

Nesta dissertação, preocupou-se unicamente com a fermentação do mosto de vinho tinto. Na vinificação deste, o processo de fermentação completo envolve a fermentação alcoólica e a maloláctica, porém este estudo centra-se meramente sobre a etapa de vinificação referente à fermentação alcoólica.

A fermentação alcoólica define-se como sendo um conjunto de reações bioquímicas realizadas por microrganismos, as leveduras, estas metabolizam essencialmente os açúcares existentes no mosto (glicose e frutose) levando-os à formação de álcool, basicamente etanol e à libertação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### **Objetivo da Dissertação**

Como o vinho pode adquirir diferentes características em função da fermentação do mosto, com a presente dissertação pretende-se definir, de uma forma genérica, potências necessárias ao controlo da fermentação e à criação de condições ambientais de segurança e higiene em salas de lagares. Sendo a principal preocupação as condições ambientais, no sentido dos acidentes que possam advir de uma deficiente higienização da sala de lagares.

De acordo com o Gabinete de Estratégia e Planeamento [11], os acidentes de trabalho, em Portugal, associados às indústrias transformadoras, nas quais se insere os setores vitivinícola, apresentam valores consideráveis. Em particular, nas adegas, existem algumas lacunas ao nível da saúde, higiene e segurança no trabalho que contribuem para esses valores. Aspetos como o uso de equipamentos e técnicas laborais ultrapassadas estão na origem de muitos dos acidentes.

A exposição ao CO<sub>2</sub> é um dos principais riscos profissionais resultantes do trabalho em adegas. O CO<sub>2</sub> libertado durante a fermentação alcoólica é responsável por muitos acidentes graves e mortais, visto que quando a inalação deste é prolongada pode provocar asfixia. Deste modo e segundo o Decreto-Lei n.º 243/86 [12], a atmosfera de trabalho bem como a das instalações comuns devem garantir a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.

Considerando o que foi anteriormente referido e também devido às fortes restrições dos regulamentos ambientais relativos aos consumos energéticos, poluentes e resíduos, para as condições ambientais numa adega é fundamental providenciar medidas

e mecanismos de prevenção e proteção. Recomenda-se uma melhoria da ventilação da adega, natural e/ou mecânica.

Em relação à fermentação alcoólica, conforme Viaud et al. [13], esta pode ocorrer durante um período variável podendo ir até 15 dias ou mais. Nesta dissertação, considerou-se que este processo leva cerca de 5 a 12 dias. Deve-se desenrolar a temperatura controlada, sendo que o valor definido para esta depende essencialmente do tipo de vinho a produzir.

### **Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação é constituída essencialmente por seis capítulos. Este subcapítulo permite conhecer primeiramente o âmbito de cada um deles.

Capítulo 1: Vinho – Aspectos da sua produção. Neste capítulo são expostos os conceitos teóricos que são essenciais para um bom entendimento do tema em questão. São abordados aspectos da vinificação de vinho, dando naturalmente principal importância à fermentação alcoólica e ao seu controlo.

Capítulo 2: Critérios Gerais. Neste são definidos critérios, que não são mais do que ponderações, que servem de suporte ao trabalho proposto e que auxiliam na modelação dos casos de fermentação em estudo.

Capítulo 3: Fermentação Alcoólica em 5 dias. Este capítulo demonstra os métodos e técnicas utilizadas para definir as potências necessárias ao controlo da fermentação e à criação de condições ambientais de segurança e higiene para uma fermentação alcoólica de 5 dias. Este capítulo, para além de caracterizar a situação mais rigorosa, é também usado como modelo para os posteriores dois capítulos.

Capítulo 4: Fermentação Alcoólica em 8 dias. Da mesma ordem de ideias do capítulo anterior, neste, enuncia-se os métodos e técnicas usadas para definição das potências necessárias ao controlo da fermentação e à formação de condições ambientais de segurança e higiene, mas neste caso para uma fermentação alcoólica de 8 dias.

Capítulo 5: Fermentação Alcoólica em 12 dias. No seguimento dos dois capítulos anteriores, este capítulo ilustra, para uma fermentação alcoólica de 12 dias, a temática utilizada para garantir condições ambientais seguras e controlo eficaz da fermentação.

Capítulo 6: Análise de Resultados. Este capítulo representa o produto deste trabalho. Neste são enquadrados os resultados dos diferentes cenários ao objetivo desta dissertação.

## **Capítulo 1**

### **Vinho – Aspectos da sua produção**

Segundo Peynaud [8], vinificam-se as uvas, a vindima, a colheita, contudo não se vinifica um vinho, este é resultado da vinificação. A vinificação propriamente dita inicia-se quando as uvas ou as massas vnicas chegam à adega, esta apresenta um conjunto de operações que realizadas permitem transformar em vinho o sumo do esmagamento das uvas.

De acordo com Curvelo-Garcia [14], é importante desenvolver as técnicas mais adequadas na produção de vinho, de modo a que se consiga obter produtos cuja qualidade seja cobiçada. Esta asseveração acarreta uma maior relevância tendo em conta a concorrência atual, a nível interno e externo, no mercado de vinhos.

Cada vinicultor concretiza a sua vinificação de modo pessoal, respeitando as características intrínsecas das castas. As técnicas utilizadas contribuem não só para a qualidade, como também, para as características e para o estilo do produto final.

Existem diferentes processos de vinificação, que correspondem quer ao tipo de vinho a produzir, quer justificados pela evolução tecnológica. As etapas base para a produção de um tipo de vinho são descritas na seguinte figura.

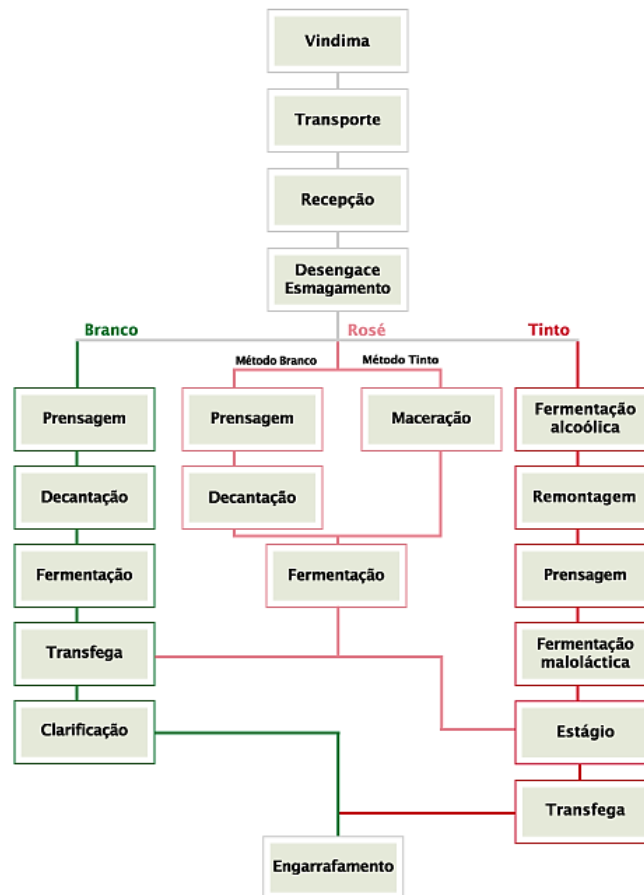


Figura 5: Fluxograma de processos da produção de vinhos brancos, tintos e rosés [15].

Através deste fluxograma, consegue-se verificar que a metodologia utilizada para a elaboração de vinhos tranquilos difere do tipo de vinho, e que a fermentação é a fase comum a todos os tipos de vinificação.

Durante a vindima, as uvas são transportadas da vinha para a adega. As operações pré-fermentativas, dada a receção da uva na adega, são constituídas pelos processos de desengace e esmagamento. O desengace consiste em separar o engaço dos bagos de uva, enquanto o esmagamento na rutura da película da uva de modo a liberar o sumo para que este fique disponível para a fermentação. Um dos primeiros controlos a realizar é o do teste da densidade do mosto. Este teste permite estimar o teor alcoólico do vinho assim como determinar a sua acidez.

A vinificação de vinho branco baseia-se na fermentação do mosto separado do engaço e das películas. Por outro lado, o vinho tinto é um vinho de maceração em que a fermentação alcoólica do mosto deve ser feita em contacto com as películas, polpas, grainhas e em certos casos também com os engaços. A presença destas partes sólidas na

fermentação facilita a extração dos nutrientes, aromas e outros constituintes da polpa, das películas e das grainhas. Estas partes, especialmente as películas, são responsáveis pelas características visuais, gustativas e olfativas que diferenciam os vinhos brancos dos tintos. Este facto determina em grande parte o estilo do vinho tinto permitindo conservar os taninos e os pigmentos das uvas, criando vinhos com uma boa estrutura, boa intensidade corante e componente aromática mais intensa.

No entanto, existem certos vinhos brancos que são produzidos a partir do processo de maceração pelicular, isto é, as películas das uvas mantêm-se em contacto com o mosto antes da fermentação, de modo a que se consiga extrair destas diversas substâncias responsáveis pelo aroma e sabor. A maioria dos vinhos brancos são elaborados a partir de uvas brancas, não obstante podem também ser obtidos através de uvas tintas.

Em relação aos vinhos tintos, estes são obtidos a partir de uvas tintas, a sua vinificação é comumente caracterizada por três fenómenos principais: a fermentação alcoólica, a maceração e a fermentação maloláctica.

No que diz respeito aos vinhos rosés, como se pode evidenciar na Figura 5, podem ser produzidos através de processos idênticos aos da vinificação de vinho branco ou de vinho tinto.

Peynaud [8] qualifica ainda a vinificação por ser uma arte e uma técnica ao mesmo tempo. O vinicultor pode sempre transmitir o seu gosto, mas o seu modo de produção deve adaptar-se a diversas circunstâncias, isto é, não se vinifica nos anos quentes como nos frios, não se vinificam as uvas ácidas da mesma forma que as maduras, não se produz um vinho para envelhecer como se elabora um vinho para ser consumido jovem.

### **1.1. Fases da Produção com vantagens da aplicação de Refrigeração**

A eficiência das operações de produção e o impacto destas na qualidade do vinho dependem de diversos fatores, entre eles da tecnologia utilizada. Uma boa aplicação dos sistemas de refrigeração nas diversas fases de produção (Tabela 1) é garantia de um controlo e desenvolvimento adequado. Por exemplo, o controlo da

temperatura em diferentes etapas de vinificação é uma ação cada vez mais usual e generalizada.

Tabela 1: Importância das condições ambientais e da ventilação na vinificação (adaptado de Maza [16]).

	<b>Temperatura</b>	<b>Humidade</b>	<b>Ventilação</b>
<b>Receção das uvas</b>	"	"	"
<b>Prensagem</b>	"	"	"
<b>Fermentação alcoólica</b>	+++	"	+++
<b>Fermentação maloláctica</b>	+++	"	+
<b>Envelhecimento em cubas</b>	++	"	+
<b>Envelhecimento em barricas</b>	+++	+++	+++
<b>Conservação de garrafas novas</b>	++	+	++
<b>Conservação de velhas garrafas</b>	++	+++	++
<b>Conservação de produtos enológicos</b>	+	+++	+++

Na tabela anterior, em relação às etapas de receção e pré-fermentativas não são definidas as importâncias das condições ambientais e de ventilação como demonstradas para as restantes, no entanto estas apresentam vantagens aquando da aplicação da refrigeração, sendo um requisito essencial, caso se justifique a sua implementação, em algumas adegas.

Segundo Pirra [17], a forma como as uvas chegam à adega pode ser diversa. Embora uvas tintas sejam menos sensíveis a fenómenos, por exemplo, de oxidação, deverá ser evitado a contaminação microbiana que pode ocorrer se estas estiverem parcialmente esmagadas e a temperatura elevada. Devem assegurar-se as melhores condições de transporte das uvas para a adega, ou seja, deve-se fazer os possíveis para que estas cheguem inteiras (não amassadas ou calcadas), inclusive deve-se ter atenção ao tempo entre a colheita e o transporte destas para a adega. Este deve ser o mínimo possível de modo a evitar o aquecimento das uvas por exposição ao sol. Esta exposição faz com que as reações enzimáticas acelerem e que as uvas, frequentemente, entrem nas adegas por volta dos 30 °C.

De modo a evitar este problema de temperatura elevada, pode-se, por exemplo, proceder à colheita a horas de baixa temperatura ou então proceder à refrigeração. A aplicação da refrigeração nestas etapas baseia-se no arrefecimento das uvas ou dos mostos. Utilizam-se, por exemplo para este efeito, permutadores de calor tubulares (o mosto ou massa esmagada é arrefecida pelo contacto com um circuito de água fria, Figura 6) ou então gelo seco para arrefecimento das uvas durante o transporte até à

adega. Deste modo, consegue-se não só controlar a temperatura das uvas como também evitar o desenvolvimento microbiano e retardar as oxidações.

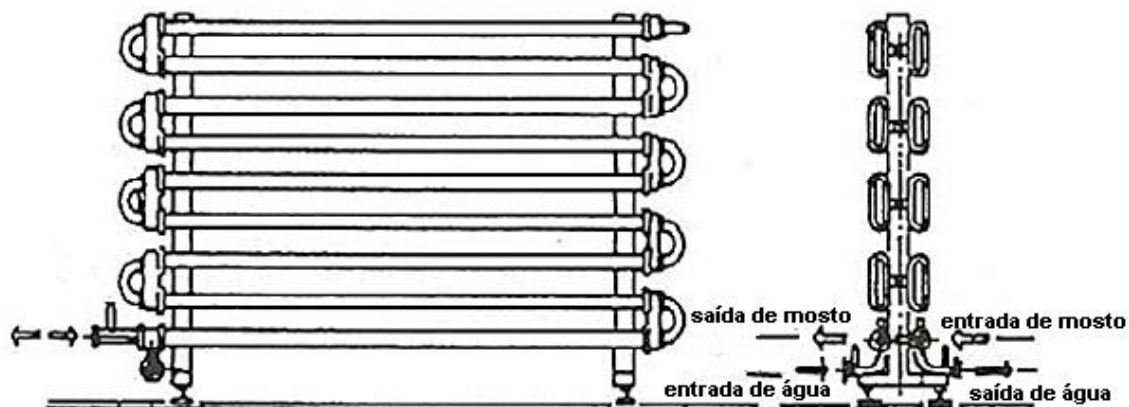


Figura 6: Esquema representativo de um Permutador de calor tubular (adaptado de Carvalheira [18]).

O controlo de temperatura pode assim ser realizado desde as primeiras fases da vinificação. Segundo Ribéreau-Gayon et al. [19] é aconselhado que as uvas cheguem à adega a uma temperatura de 20 °C. Caso, na entrada destas se verificarem temperaturas da ordem de 26, 28 °C pode-se causar um início difícil de fermentação e um aumento da produção de acidez volátil.

Como dito anteriormente, é cada vez mais usual em processos como os de maceração, fermentação, estabilização, etc., a exigência do controlo de temperatura. A Tabela 2 serve de complemento à tabela anterior, dado que nesta se verificam as gamas de temperaturas ideais para as diversas etapas na vinificação de vinho branco ou tinto e também os efeitos sobre o mosto/vinho com a aplicação de sistemas de refrigeração.

Tabela 2: Importância do controlo de temperatura e efeitos no mosto/vinho na vinificação de vinho branco ou tinto (adaptado de Calderón et al. [20]).

<b>Operação</b>	<b>Vinho branco</b>	<b>Vinho Tinto</b>	<b>Temp. ótima</b>	<b>Efeitos sobre o mosto/vinho</b>
<b>Crioextração</b>	+	-	-5 / -10 °C	Elimina grande parte das substâncias que obscurecem os mostos recém extraídos, evitando a formação de aromas indesejáveis
<b>Criomaceração</b>	++	++	5 / 10 °C	Extração de precursores aromáticos Atraso da fermentação
<b>Refrigeração do mosto</b>	+++	+++	10 / 18 °C	Possibilita a trasfega nos vinhos brancos Nos vinhos tintos baixa a temperatura até à ideal de fermentação
<b>Trasfega</b>	+++	-	10 / 15 °C	Acelera o processo de sedimentação Atrasa o começo da fermentação
<b>Maceração pelicular/pré-fermentativa</b>	++	++	< 15 °C	Dissolve a cor e o aroma das películas no mosto antes da fermentação, enriquecendo-o
<b>Controlo térmico da fermentação</b>	+++	-	13 / 20 °C	Melhora o aroma de vinhos brancos Evita a paragem da fermentação
<b>Controlo térmico da fermentação e maceração</b>	-	+++	25 / 30 °C	Evita a evaporação de aromas Evita a paragem da fermentação
<b>Conservação em frio do vinho produzido</b>	+++	+++	10 / 15 °C	Retarda o metabolismo dos microrganismos Diminui as perdas de aroma e oxidação
<b>Estabilização microbiológica</b>	+++	++	< 5 / 10 °C	Melhora o processo de filtração
<b>Estabilização coloidal</b>	-	+++	< 5 / 10 °C	Precipita a matéria corante instável
<b>Estabilização tartárica</b>	+++	+++	-5 / 1 °C	Precipita os sais tartáricos de cálcio e de potássio
<b>Envelhecimento em barrica</b>	+++	+++	15 / 20 °C	Controla o processo de oxidação e redução Diminui as perdas de volume Evita o desenvolvimento microbiano indesejável
<b>Segunda fermentação (fermentação na garrafa)</b>	+++	-	12 / 15 °C	Controla a fermentação, dado que o processo confere pressão ao espumante ficando este turvo devido aos sedimentos das leveduras que realizam a fermentação (efeito na elaboração de espumantes)
<b>Engarrafamento</b>	+	+	15 °C	Diminui as perdas de aroma e facilita o processo
<b>Armazenamento das garrafas</b>	+++	+++	12 / 18 °C	Melhora a estabilidade do vinho

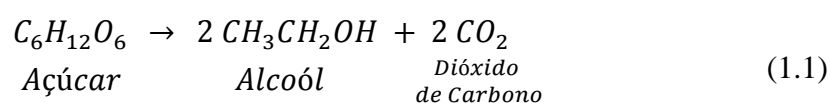
Após apresentação dos processos onde a aplicação da refrigeração representa resultados benéficos na produção de vinho existe um que ressalta: a fermentação alcoólica. O controlo térmico deste processo, principalmente na produção de vinho tinto, é assim imprescindível. Como apresentado na tabela anterior, com o controlo

nesta fase consegue-se evitar a evaporação de aromas, a paragem da fermentação e também regular o desenvolvimento microbiológico.

## 1.2. Fermentação Alcoólica

Grosso modo, pode-se caracterizar a fermentação alcoólica como sendo o processo de transformação do açúcar das uvas em álcool, com dissipação de CO<sub>2</sub> gasoso.

Em inícios do século XIX, *Gay-Lussac* demonstrou a equação que caracteriza a reação química da fermentação alcoólica [21]:



No entanto, posteriormente, *Pasteur* deliberou que a equação anterior é apenas válida para 90% do açúcar transformado, o restante corresponde a outras substâncias originadas, como são os casos do glicerol, do ácido succínico e do ácido acético. Para além de um grande número de variadas substâncias presentes em pequenas quantidades, *a posteriori*, reconheceram-se outros produtos secundários, como por exemplo, ácido pirúvico, ácido láctico ou aldeído acético.

De acordo com *Peynaud* [8], praticamente não existe fermentação do açúcar, transformação em álcool, senão quando as leveduras entram em atividade e se multiplicam. A fermentação está conectada com a vida e são as leveduras que metabolizam os açúcares da uva, transformando-os principalmente em etanol e CO<sub>2</sub>. Com efeito, a paragem da fermentação é também indício da interrupção do desenvolvimento das leveduras e da sua morte. As leveduras são assim agentes da fermentação alcoólica.

As leveduras são microrganismos unicelulares que crescem e reproduzem-se rapidamente. Existem muitas e diversas espécies de leveduras que se distinguem pela morfologia, pela forma de reprodução, pelas propriedades de cada uma e também pela maneira como dissociam o açúcar. As leveduras encontram-se dispersas pela natureza em todo o lado, especialmente em plantas e frutos. De acordo com *Ribereau Gayon et al.* [22], no momento da vindima a película da uva tem um vasto número de leveduras, embora estas após as vindimas sejam transportadas para a adega com as uvas, não são

rigorosamente as mesmas dos mostos em fermentação, dado que durante a fermentação alcoólica umas espécies se vão sucedendo a outras.

A fermentação alcoólica espontânea sucede quando as películas das uvas se rompem, possibilitando que as leveduras presentes nas superfícies destas invadam os açúcares presentes na polpa e desencadeiem o processo. Como já foi enunciado, outras substâncias vão ser formadas durante a etapa da fermentação, de acordo com o tipo de casta, estado de maturação da uva, das condições de fermentação, etc. A fermentação alcoólica avança até que todo o açúcar seja consumido. Por vezes, ao se atingir graus alcoólicos altos ou temperaturas elevadas dá-se a paragem da fermentação por morte das leveduras.

Em particular, na vinificação de vinho do Porto a fermentação é interrompida pela adição de aguardente, esta aumenta a força do vinho a um nível onde as leveduras responsáveis pela fermentação não sobrevivem. A fermentação é interrompida mesmo antes que todo o açúcar tenha sido transformado em álcool e, assim, alguma da doçura natural da uva é preservada.

Cada vez mais, nos dias que correm, na fermentação recorre-se à adição e utilização de fermentos (leveduras selecionadas). Na prática, a fermentação pura é menos previsível do que quando se inocula o mosto com fermentos. Contudo, escolher uma levedura de entre um vasto leque de outras não se trata de um processo ao acaso, requer um estudo prévio e minucioso sobre as suas características fisiológicas, rendimento em álcool, forte formação de glicerol, produção de um aroma próprio ou resistência a uma temperatura elevada são exemplos de algumas delas. Quando a seleção é feita corretamente, consegue-se, por exemplo, arrancar mais depressa e diminuir a duração da fermentação, limitar os desvios organoléticos e conduzir a qualidade do vinho em função dos objetivos pretendidos pelo enólogo.

Por outro lado, para que a adição de leveduras seja verdadeiramente eficaz só se deve realizá-la após controlo do desenvolvimento das leveduras naturais presentes nas uvas e na adega. No entanto, esta condição não é nada fácil de se obter, em certos casos, as leveduras naturais melhor adaptadas transpõem as leveduras adicionadas. Esta situação acontece mais naturalmente na vinificação em tinto, mesmo que se façam grandes sulfitagens e inseminações.

Na vinificação em branco, em que o mosto é homogêneo e possibilita boas misturas, o controlo das leveduras naturais realiza-se mais facilmente. A limpeza do mosto após a sulfitagem promove a adição indispensável de leveduras.

Como todos os seres vivos, as leveduras têm certas necessidades referentes à sua alimentação e condições de meio. As condições de crescimento ou multiplicação das leveduras são as condições intrínsecas da fermentação. Contudo, as leveduras têm necessidade de oxigénio, precisam de uma nutrição adequada em açúcares, elementos minerais são muito sensíveis à temperatura, entre outros aspetos a ter em conta.

Segundo Peynaud [8], as condições ideais de desenvolvimento das leveduras são tanto mais necessárias quanto maior for o teor dos vinhos pretendidos. A orientação da fermentação levanta poucos problemas para vinhos de 9 ou 10° GL. Todavia, para vinhos de 11, 12° GL ou mais, esta é mais delicada.

### **1.3. Controlo térmico da Fermentação Alcoólica**

O conceito de vinificação não passa por deixar o mosto nos depósitos de fermentação, mas sim em analisar os processos que se vão sucedendo. É fundamental acompanhar as transformações de modo a antecipar a evolução para que caso seja necessário intervir previamente.

Para um controlo eficaz da fermentação, é necessário medir, repetidamente em intervalos regulares, a densidade e a temperatura do mosto. Estas medições são essenciais visto que a ocorrência da fermentação se verifica pela diminuição da massa volúmica do mosto ao longo dos dias, devido à transformação dos açúcares em álcool.

Um dos principais entraves encontrados na produção de vinho advém da dissipação do calor criado pela fermentação. Como redigido anteriormente, é em grande parte atuando nas condições de fermentação, particularmente sobre a temperatura, que se pode interferir de forma mais significativa na vinificação. A temperatura de fermentação é um fator decisivo para o desenvolvimento das leveduras, para a quantidade de açúcar que estas podem transformar, para o teor alcoólico que podem atingir, bem como, para a cinética da fermentação alcoólica. Ou seja, a temperatura afeta a taxa de crescimento das leveduras e conseqüentemente a duração da fermentação alcoólica.

Em concordância com Peynaud [8], acima de 35 °C não se pode realizar corretamente uma fermentação. Se esta for atingida gradualmente as leveduras ficam mais sensíveis ao etanol, cessam a sua atividade e morrem, por vezes, esta situação acontece também entre 30 a 32 °C. Este cenário ocorre como se as leveduras se cansassem tanto mais depressa quanto mais rapidamente trabalhassem a temperaturas mais elevadas. O facto de, na prática, a temperatura dos depósitos de fermentação aumentar gradativamente devido à emissão calorífica da fermentação é uma condição desfavorável. A Figura 7 representa a evolução térmica típica, na vinificação de vinho tinto, durante uma fermentação alcoólica de 10 dias.

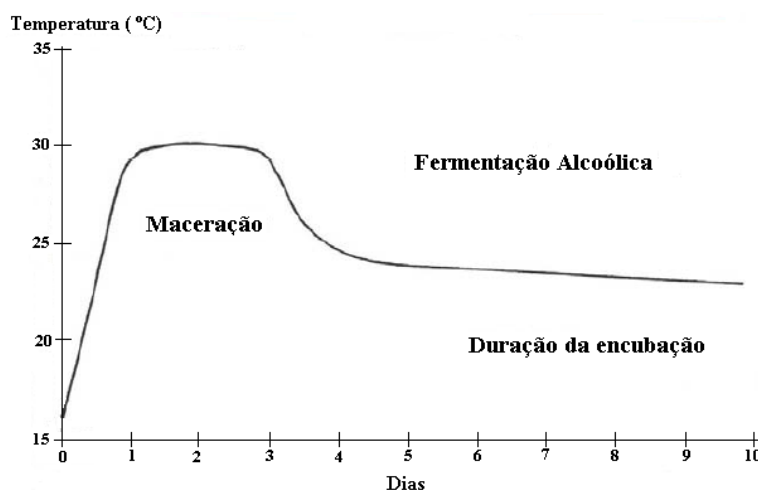


Figura 7: Temperaturas típicas durante uma fermentação alcoólica de 10 dias na vinificação de vinho tinto (adaptado de Carvalheira [18]).

A eleição da temperatura de fermentação depende sempre do tipo de vinho a produzir. A temperatura ideal na fermentação alcoólica para a produção de vinho tinto, como foi possível visualizar na Tabela 2, posiciona-se entre os 25 e 30 °C. Esta advém de um compromisso entre uma favorável maceração, a necessidade de ter uma fermentação satisfatoriamente rápida e o impedir da interrupção da fermentação por excesso de temperatura.

É imprescindível evitar o risco de paragem da fermentação. Não se deve esperar que o depósito de fermentação atinja a zona perigosa de temperatura para se tratar do arrefecimento. Deve-se assim refrigerar sem esperar que a temperatura crítica seja atingida, com efeito de impedir que as leveduras comecem a ser destruídas.

Para além de uma boa ventilação, é também fundamental controlar eficazmente a fermentação do mosto. No entanto, existem diversas soluções possíveis para o problema térmico, mais ou menos práticas e eficazes.

O arrefecimento do mosto pode ocorrer por expansão direta ou por circulação de um fluido. Por exemplo, o arrefecimento por circulação de um fluido, normalmente água ou água “glicolada”, proporciona a refrigeração do mosto diretamente no depósito através de permutadores internos ou externos, ou então por circulação do mosto a arrefecer num permutador tubular ou de placas [18]. Apesar de haver diferentes soluções de refrigeração, é fundamental que cada adega possua recursos técnicos suficientes de arrefecimento ajustados às suas condições laborais.

A fermentação decorrerá necessariamente em função da temperatura a que for conduzida. Temperaturas mais elevadas significam esgotamento mais rápido dos açúcares. Na vinificação de vinho tinto, numa temperatura compreendida entre os 26 e 28 °C, a extração de compostos fenólicos é maior. O vinho adquire longevidade devido à maior concentração de tanino. Temperaturas mais baixas conduzem a fermentações mais longas e a vinhos com menos estrutura, no entanto, mais frutados [23].

Contudo conduzir corretamente a fermentação não passa somente por controlar bem a temperatura mas também em criar condições que certifiquem o bom trabalho das leveduras e que contenham o desenvolvimento das bactérias em presença do açúcar.



## Capítulo 2

### Critérios Gerais

Como foi referido na introdução, com a presente dissertação pretende-se definir, de uma forma genérica, potências necessárias ao controlo da fermentação e à criação de condições ambientais de segurança e higiene em salas de lagares. Para se conseguir alcançar esses objetivos foi necessário definir algumas condições e pressupostos de cálculo.

As condições, os pressupostos definidos e a metodologia de cálculo elaborada representam um conjunto de procedimentos propostos que se pretendem abrangentes, partindo de uma visão panorâmica da temática, representando um guia para casos específicos.

#### 2.1. Condições e Pressupostos de Cálculo

Como demonstra a Tabela 2, para a produção de vinho tinto de qualidade a temperatura do mosto durante o processo de fermentação alcoólica deve estar entre os 25 e os 30° C. Em relação à produção de vinho branco, a temperatura do mosto durante o processo de fermentação deve estar entre 13 a 20° C. Estes valores diferem muitas vezes de bibliografia para bibliografia, dado que a temperatura ideal para o processo de fermentação alcoólica depende por exemplo dos tipos de castas, do *terroir*, do estado da uva e dos aditivos necessários para o corrigirem, entre outros fatores intrínsecos. Estes aspetos, que podem influenciar a temperatura ideal para uma melhor qualidade do vinho durante a fermentação do mosto, são de preocupação exclusiva do enólogo, contudo o sistema de refrigeração deve estar preparado para corresponder às necessidades deste.

Deposto isto, e segundo o Decreto-Lei n.º 243/86 [12], os locais de trabalho assim como as instalações comuns devem oferecer boas condições de temperatura e humidade, de modo a proporcionar bem-estar e defender a saúde dos trabalhadores. Considerou-se para a zona de lagares uma temperatura de 28° C, dado que nesta dissertação se incidiu na fermentação do mosto de vinho tinto e uma humidade relativa de 50% e dado que se considerasse uma humidade excessiva esta favorecia o desenvolvimento de fungos.

A vinificação em tinto utiliza locais e instalações diversas, sendo que a adega deve permitir uma boa organização laboral. Para simplificar os cálculos e de modo a tornar o caso em estudo específico e exemplificativo de uma pequena adega considerou-se a zona de lagares com uma área de 72 m<sup>2</sup> e com um pé direito de 3 m.

Pode-se conduzir a fermentação de diversas formas, em recipientes de diferentes geometrias. Dito isto, na área referente à zona de lagares pressupôs-se a existência de dois lagares com 4 m de comprimento, 4 m de largura e com uma profundidade de 1 m, onde as uvas, com ou sem engaço devem ser deitadas após a vindima, perfazendo um total de 20 000 l de mosto.

## **2.2. Determinação do Volume de Referência (mosto)**

A medição da densidade permite controlar a evolução da fermentação, nesta fase, torna-se também imprescindível uma análise à quantidade de açúcares presentes no mosto. A densidade constitui uma medida aproximada da quantidade de açúcar presente no mosto, esta diminui gradualmente e mais rapidamente quanto mais aviva estiver a fermentação. A criação de gráficos, curvas da evolução da fermentação, de densidade e temperatura (Figura 7) permitem avaliar o progresso da fermentação, dando uma ideia eficaz do consumo de açúcares e da produção de álcool, possibilitando ao enólogo supervisionar as transformações, antecipar a sua evolução e agir rapidamente, perante qualquer anormalidade no processo.

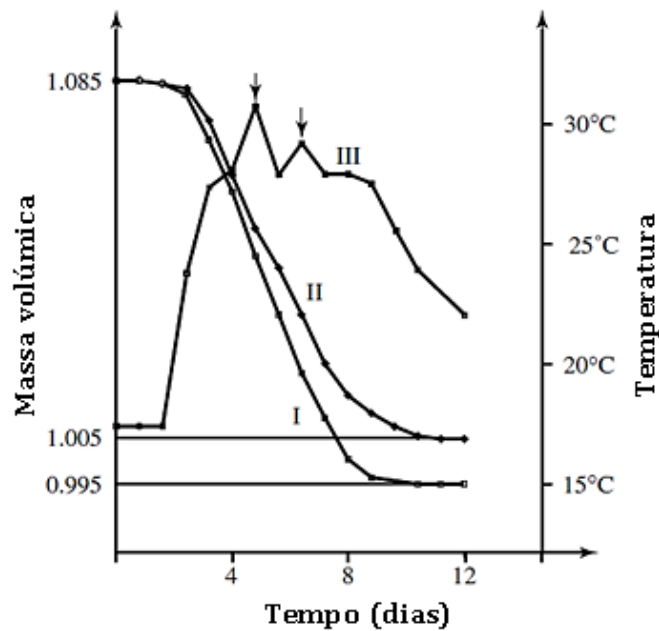


Figura 8: Exemplo de curvas de fermentação (adaptado de Ribéreau-Gayon et al. [22]).

Na Figura 8 consegue-se visualizar três tipos de curvas da fermentação, sendo que as curvas I e II representam a evolução da massa volúmica e a curva III o progresso tipo da temperatura da fermentação de vinho tinto. As setas neste tipo de curva indicam arrefecimento.

Segundo Tomás [24], a massa volúmica do mosto está normalmente compreendida entre 1,070 e 1,120 kg/l e a do vinho oscila entre 0,990 e 0,998 kg/l. Quando a massa volúmica normaliza perto de 0,998 kg/l ou a valores inferiores, é necessário ter a noção da quantidade de açúcares redutores presentes no mosto, visto que com esta avaliação se consegue concluir se a fermentação alcoólica está ou não completa. Se a massa volúmica estabiliza a um valor significativamente mais elevado que 0,998 kg/l, a fermentação é interrompida.

Para a determinação do volume de referência do mosto consideraram-se os valores da Figura 8 referentes à curva de fermentação I. Consideraram-se estes visto que a curva I representa o decréscimo da massa volúmica de uma fermentação alcoólica normal. Deste modo, a massa volúmica inicial do mosto é igual a 1,085 kg/l e a final igual a 0,995 kg/l.

Deste modo, para 20 000 l de mosto temos:

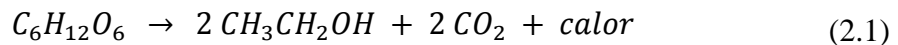
$$\rightarrow 20\,000 \times 1,085 = 21\,700 \text{ kg de Mosto (início da fermentação)}$$

$$\rightarrow 20\,000 \times 0,995 = 19\,900 \text{ kg de Sumo de Fermentação (final da fermentação)}$$

Para simplificar os cálculos associados, assumiu-se como referência, aproximadamente 20 000 kg de Sumo de Fermentação.

### 2.3. Equação da Fermentação

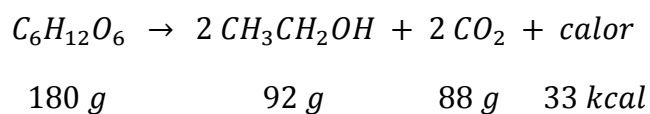
Com base na *equação de Gay-Lussac* e sabendo que a fermentação alcoólica é um processo exotérmico, consegue-se relacionar o teor alcoólico com o valor teórico da seguinte equação.



De acordo com Ribéreau-Gayon et al. [22], no mosto, as leveduras encontram na glicose e frutose fontes de carbono e energia. A concentração total de açúcares no mosto está compreendida entre 170 e 220 g/l, o que corresponde a vinhos com cerca de 10 a 13° GL após a fermentação. A fermentação alcoólica, representada pela equação 2.1, difunde cerca de 40 kcal de energia livre por molécula de açúcar. No entanto uma parte dessa energia é utilizada pelas leveduras para assegurar as suas funções vitais. A restante corresponde à energia não utilizada que é dissipada na forma de calor, participando principalmente no aquecimento dos depósitos de fermentação.

A estimativa da dissipação de calor é fonte de discussão. Para Blouin et al. [25], vários estudos indicam libertação de 24 a 40 kcal/mol de açúcar (1 mol = 180 g) sendo 33 kcal o valor citado com maior frequência.

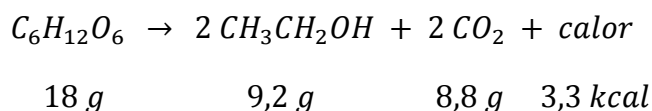
Deposto isto, tendo a noção que vários fatores influenciam a conversão de açúcar em álcool e que estas relações numéricas são aproximadas, adotou-se que a fermentação do mosto contendo 180 g (uma molécula) de açúcar por litro, distribui-se em:



Em conformidade com Cardoso [21], na fermentação de tintos, são necessários perto de 18 g para se obter 1 grau alcoólico, logo se se seguir que:

$$\begin{array}{ccc} 18 \text{ g} & \Leftrightarrow & 1^\circ \text{ GL} \\ 180 \text{ g} & \Leftrightarrow & 10^\circ \text{ GL} \end{array}$$

E que, segundo Peynaud [8], o calor desenvolvido pela fermentação alcoólica é proporcional à quantidade de açúcar transformado, então, a fermentação do mosto contendo 18 g de açúcar, divide-se em:



#### 2.4. Perdas na Zona de Lagares (Fermentação)

Uma vez que existe relação, durante a fermentação, entre a quantidade de álcool produzido e a concentração inicial de açúcares no mosto, à medida que a fermentação se desenvolve a quantidade de açúcar do mosto diminui conforme o aumento do teor alcoólico.

Como o teor alcoólico do vinho tinto está geralmente compreendido entre 12 a 14° GL e considerando o maior valor, temos:

$$0^\circ \text{ GL} \rightarrow 14^\circ \text{ GL (Fermentação 5 a 12 dias)}$$

$$20\ 000 \text{ kg de Sumo de Fermentação} \times 14^\circ \text{ GL/kg} = 280\ 000^\circ \text{ GL}$$

##### 2.4.1. Dissipação de calor (Total do processo)

$$\begin{aligned} 280\ 000^\circ \text{ GL} \times 3,3 \text{ kcal}/^\circ \text{ GL} &= 924\ 000,0 \text{ kcal} \\ &= 3.868\ 603,1 \text{ kJ} \end{aligned}$$

##### 2.4.2. Libertação de CO<sub>2</sub> (Total do processo)

$$\begin{aligned} 280\ 000^\circ \text{ GL} \times 8,8 \text{ g de CO}_2/^\circ \text{ GL} &= 2.464\ 000 \text{ g de CO}_2 \\ &= 2\ 464 \text{ kg de CO}_2 \end{aligned}$$



## Capítulo 3

### Fermentação Alcoólica em 5 dias

Com este capítulo, pretende-se demonstrar o cálculo das necessidades de ventilação e de refrigeração para a produção de vinho tinto num total de 20 000 l de mosto e com fermentação alcoólica durante 5 dias.

A seguinte tabela apresenta valores tipo da evolução de uma fermentação de mosto de vinho tinto, ao longo dos 5 dias para um total de 10 000 l de mosto.

Tabela 3: Dados da fermentação alcoólica em 5 dias.

Dia	1º	2º	3º	4º	5º
Energia (kcal)	63 000	130 200	<b>136 500</b>	90 300	42 000
Energia (MJ)	263,8	545,1	<b>571,5</b>	378,1	175,8
° GL	1,909	3,945	<b>4,136</b>	2,736	1,273
° GL Acumulado	1,909	5,855	9,991	12,727	14,000
CO <sub>2</sub>	168,0	347,2	<b>364,0</b>	240,8	112,0
CO <sub>2</sub> Acumulado	168,0	515,2	879,2	1 120,0	1 232,0
(° GL/14) x 100%	13,6%	28,2%	<b>29,6%</b>	19,6%	9,1%

A tabela anterior permite construir o seguinte gráfico. Este caracteriza a evolução do grau alcoólico na produção do vinho tinto ao longo dos 5 dias de fermentação. Consegue-se verificar que, no final da fermentação, atingiu-se o teor alcoólico desejado (14° GL).

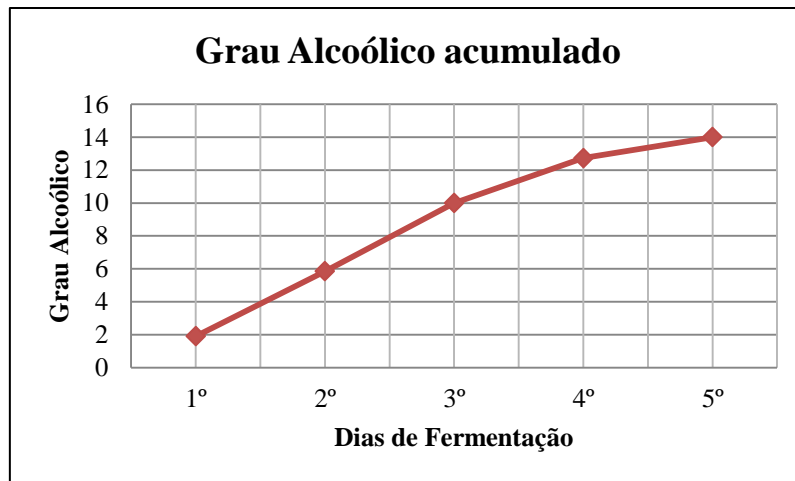


Gráfico 1: Evolução do teor alcoólico ao longo dos 5 dias de fermentação.

Numa fermentação, o desprendimento de calor não é constante, é marcante nos primeiros dias da fase tumultuosa, depois, quando esta se torna mais lenta a dissipação de calor não é tão significante.

Os valores demonstrados na Tabela 3, servem para iniciar o cálculo referente ao caso de estudo. Deste modo, com base nesta, consegue-se identificar qual é o dia de pico dos 5 dias de fermentação. Devido aos valores de energia, teor alcoólico e CO<sub>2</sub> produzidos, apura-se que o dia de pico é o 3º dia de fermentação. É então sobre este que se deve incidir a maior preocupação, visto que é o dia com maiores necessidades de refrigeração e ventilação. É neste dia que o pico de produção de calor na fermentação alcoólica é atingido e que corresponde a um ganho no teor alcoólico de 4,136° GL.

Após identificação do dia de pico, procede-se à realização do cálculo da potência necessária para remover a energia produzida nesse dia, bem como, à determinação da ventilação necessária para que a produção de CO<sub>2</sub> não apresente concentrações acima das aceitáveis.

### 3.1. Perdas na Zona de Lagares (Dia de Pico de Fermentação)

#### 3.1.1. Dissipação de calor (por kg de mosto)

$$4,136^{\circ} GL \times 3,3 kcal/^{\circ} GL = 13,649 kcal$$

$$= 57,146 kJ$$

### **3.1.2. Libertação de CO<sub>2</sub> (por kg de mosto)**

$$4,136^\circ GL \times 8,8 g \text{ de } CO_2 / ^\circ GL = 36,397 g \text{ de } CO_2$$

No caso em estudo, para os 20 000 kg de Sumo de Fermentação obtém-se:

### **3.1.3. Dissipação de calor (por 20 000 kg de Sumo de Fermentação)**

$$20\,000 \text{ kg} \times 13,649 \text{ kcal/kg} = 272\,980,0 \text{ kcal}$$
$$= 1.142\,912,6 \text{ kJ}$$

### **3.1.4. Libertação de CO<sub>2</sub> (por 20 000 kg de Sumo de Fermentação)**

$$20\,000 \text{ kg} \times 36,397 g \text{ de } CO_2 / \text{kg} = 727\,940,0 g \text{ de } CO_2$$
$$= 727,940 \text{ kg de } CO_2$$

Assumindo que a fermentação alcoólica é constante durante as 24 horas do dia de pico, obtém-se para a dissipação de calor e libertação de CO<sub>2</sub> os seguintes valores:

### **3.1.5. Dissipação de calor (por hora em dia de Pico)**

$$272\,980,0 \text{ kcal} \div 24 \text{ h} = 11\,374,2 \text{ kcal/h}$$
$$= 3\,159,5 \text{ cal/s}$$
$$\cong 13,2 \text{ kW}$$

### **3.1.6. Libertação de CO<sub>2</sub> (por hora em dia de Pico)**

$$727,940 \text{ kg de } CO_2 \div 24 \text{ h} = 30,331 \text{ kg de } CO_2 / \text{h}$$

## **3.2. Determinação das Necessidades de Ventilação para a Zona de Lagares**

Como já foi enunciado nesta dissertação, é essencialmente a partir da fermentação alcoólica que se produz o CO<sub>2</sub>. A produção deste provoca uma deslocação do ar presente no ambiente da sala de lagares para zonas mais elevadas, conduzindo à substituição e por consequência à redução do teor de oxigénio. Deste modo, as consequências para a saúde dos trabalhadores dependem basicamente do teor de oxigénio, da quantidade de CO<sub>2</sub> proveniente do ar exterior fornecida ao ar ambiente da adega, do CO<sub>2</sub> produzido através da fermentação e do tempo de exposição.

O CO<sub>2</sub> é caracterizado por ser um gás inodoro, incolor e mais denso que o ar. Pode tornar-se perigoso não como um agente tóxico, mas como um asfixiante secundário. A concentração de CO<sub>2</sub> nas adegas pode motivar, por intoxicação, efeitos neurotóxicos nos trabalhadores, como cefaleias, vertigens, faltas de ar, convulsões e até morte por asfixia.

Quando as concentrações excederem 35 000 ppm, os recetores centrais da respiração são acionados e causam a sensação de falta de ar. Em concentrações progressivamente maiores, disfunção do sistema nervoso central começa devido ao deslocamento simples de oxigénio [26].

De forma a assegurar uma atmosfera adequada para os trabalhadores é necessário uma boa ventilação, que deva assegurar que as concentrações de CO<sub>2</sub> não transponham valores que possam ser prejudiciais ou pôr em risco de vida no caso de permanência no local.

### 3.2.1. Massa de ar seco

Na zona de lagares considerou-se como condições interiores:

$$T_{int.} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{int.} = 50\%$$

Relativamente à pressão atmosférica esta é função da localização da adega. Neste caso de estudo, considerou-se a pressão atmosférica normal, ao nível do mar, isto é, cerca de 1 atm (101,325 kPa).

Considerou-se também o ar atmosférico como uma mistura de dois gases, ar seco e vapor de água, ambos considerados como gases perfeitos, obedecendo a mistura à *lei de Dalton* [26].

Com a seguinte expressão, a expressão que define a humidade relativa ( $\varphi$ ) como relação entre a pressão parcial do vapor ( $P_v$ ) e a pressão de saturação ( $P_{sat.}$ ), a uma determinada temperatura, consegue-se obter o valor da pressão parcial do vapor, ou seja:

$$\varphi = \frac{P_v}{P_{sat.}} \times 100(\%) \Leftrightarrow P_v = \frac{\varphi \times P_{sat.}}{100} \quad (3.1)$$

A pressão de saturação do vapor é dada através da seguinte expressão [27]:

$$P_{sat.} = \frac{e^{[77,3450+0,0057(273,15+T)-7\,235/(273,15+T)]}}{(273,15 + T)^{8,2}} \quad (3.2)$$

Através das expressões anteriores e para as condições interiores na zona de lagares tem-se:

$$P_{sat.}(28\text{ }^{\circ}\text{C}) = 3\,769,1\text{ Pa}$$

$$P_v = \frac{50 \times 3\,769,1}{100} = 1\,884,6\text{ Pa} = 1,8846\text{ kPa}$$

A pressão parcial do ar seco ( $P_a$ ) é então dada por:

$$P_a = P_{atm} - P_v = 101,325 - 1,8846 = 99,4404\text{ kPa}$$

Como é possível verificar através do Anexo A, a constante universal dos gases perfeitos para o ar seco ( $R_a$ ) é igual a 0,287 kJ/(kg.K).

Assim, pode-se calcular o volume específico do ar seco:

$$v_a = \frac{R_a \times T}{P_a} \quad (3.3)$$

$$v_a = \frac{R_a \times (273,15 + T_{int.})}{P_a} = \frac{0,287 \times (273,15 + 28)}{99,4404} = 0,8692\text{ m}^3/\text{kg ar seco}$$

Dado que a mistura obedece à *lei de Dalton*, então:

$$v_a = v_{int.} = 0,8692\text{ m}^3/\text{kg ar seco}$$

Por conveniência, por exemplo, quando se necessita de uma determinação rápida, o volume específico da mistura também pode ser determinado através de uma Carta Psicrométrica. Este diagrama psicrométrico torna mais expedita a determinação das propriedades do ar atmosférico, desde que se conheçam duas das suas propriedades.

Como a zona de lagares apresenta uma área de  $72 \text{ m}^2$  e um pé direito de  $3 \text{ m}$ , a massa de ar seco presente no interior da zona de lagares é dada por:

$$m_{adega} = \frac{V_{adega}}{v_{int.}} \quad (3.4)$$

$$m_{adega} = \frac{72 \times 3}{0,8692} = 248,5 \text{ kg ar seco}$$

### 3.2.2. Concentração de $\text{CO}_2$

A concentração de  $\text{CO}_2$  presente na zona de lagares provém do ar exterior e da sua produção durante a fermentação alcoólica.

Relativamente ao ar exterior considerou-se que a concentração de  $\text{CO}_2$  neste é cerca de  $500 \text{ ppm}$ , isto porque, segundo a norma ANSI/ASHRAE Standard 62-2001 [28], as concentrações de  $\text{CO}_2$  no ar exterior variam tipicamente entre  $300$  a  $500 \text{ ppm}$ . Optou-se assim pelo maior valor.

De acordo com o que foi descrito anteriormente, os  $\text{kg}$  de  $\text{CO}_2$  presentes na zona de lagares provenientes do ar exterior podem ser determinados segundo a seguinte relação:

$$1.000\ 000 \text{ kg ar} \rightarrow 500 \text{ kg de } \text{CO}_2$$

$$m_{adega} \rightarrow m_{\text{CO}_2} \text{ kg de } \text{CO}_2$$

A ordem de ideias da seguinte relação deriva de uma espécie de regra de três simples, isto é, se num milhão de  $\text{kg}$  de ar existem cerca de  $500 \text{ kg}$  de  $\text{CO}_2$  então, quantos  $\text{kg}$  de  $\text{CO}_2$  poderão existir na massa de ar seco presente no interior da zona de lagares?

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{500 \times m_{adega}}{1.000\ 000} = \frac{500 \times 248,5}{1.000\ 000} = 0,124 \text{ kg de } \text{CO}_2$$

Somando o valor determinado anteriormente, referente aos  $\text{kg}$  de  $\text{CO}_2$  presentes no interior da zona de lagares provenientes do ar exterior, aos  $\text{kg}$  de  $\text{CO}_2$  libertados durante a fermentação, por hora em dia de pico, obtém-se o total de  $\text{CO}_2$  existente no interior da zona de lagares na situação mais exigente.

$$\text{Total de } \text{CO}_2 = 0,124 + 30,331 = 30,455 \text{ kg de } \text{CO}_2/h$$

Com uma relação muito idêntica à antecedente consegue-se então determinar a concentração total de CO<sub>2</sub> na zona de lagares:

$$1.000\ 000\ kg\ ar \rightarrow n^{\circ}\ ppm$$

$$m_{adega} \rightarrow 30,455\ kg\ de\ CO_2/h$$

$$n^{\circ}\ ppm = \frac{1.000\ 000 \times 30,455}{m_{adega}} = \frac{1.000\ 000 \times 30,455}{248,5} = 122\ 555,3\ ppm$$

### 3.2.3. Renovações de ar

As renovações de ar necessárias devem garantir condições ambientais de segurança e higiene para a zona de lagares, portanto é fundamental garantir que as concentrações de CO<sub>2</sub> não ultrapassem certos valores.

No Anexo B, são apresentados valores de referência de alguns poluentes da qualidade do ar interior, para a Europa segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) e para outras normalizações empregadas na Alemanha, Estados Unidos e Canadá. As concentrações indicadas são consideradas máximas admissíveis e, por vezes, estão associadas a um determinado tempo de exposição em ambientes de trabalho industrial [26].

Visto que durante a fermentação alcoólica o tempo de exposição ao CO<sub>2</sub> resume-se aos trabalhos de medição e análise do mosto, tendo em conta os diversos valores apresentados optou-se como limite a concentração máxima admissível de 10 000 ppm. Este representa o nível de exposição no local de trabalho para a normalização alemã, ou seja, 10 000 ppm é o valor limite acima do qual não devem ocorrer exposições por referência a um período de 60 minutos (1 hora).

Deste modo, para que a concentração total de CO<sub>2</sub> na situação mais exigente não ultrapasse a concentração máxima admissível, o número de renovações necessárias pode ser determinado da seguinte forma:

$$10\ 000\ ppm \rightarrow m_{adega}$$

$$n^{\circ}\ ppm \rightarrow \dot{m}_{ar}$$

$$\dot{m}_{ar} = \frac{n^{\circ}\ ppm \times m_{adega}}{10\ 000} = \frac{122\ 555,3 \times 248,5}{10\ 000} = 3\ 045,5\ kg/h$$

Sendo o  $v_{int.} = 0,8692 \text{ m}^3/\text{kg}$  ar seco, nesse caso o caudal de ventilação requerido é de:

$$\dot{V} = \dot{m}_{ar} \times v_{int.} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \dot{V} &= 3\,045,5 \times 0,8692 = 2\,647,1 \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 735,3 \text{ l/s} \end{aligned}$$

A maneira teórica de calcular o caudal de ventilação conta não só com as condições interiores, como também com as exteriores, neste caso em estudo, considerou-se somente o volume específico da zona de lagares ( $v_{int.}$ ), dado que essa é a situação mais severa. Isto porque, em caso de arrefecimento o que importa são as condições interiores. De qualquer forma, se se comparar ambas as condições em termos de volume específico, o erro associado a estas é mínimo, estas não variam de forma acentuada, isto é, em termos de volume específico estas condições são muito parecidas, em ambas o volume específico será sempre na ordem de  $0,8 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

Por último, como o caudal de ventilação pode ser relacionado com o número de renovações:

$$\dot{V} = R_{ph} \times V_{adega} \quad (3.6)$$

O número de renovações necessárias para a zona de lagares, para que a concentração total de  $\text{CO}_2$  na situação mais exigente não transponha a concentração máxima admissível é:

$$\dot{V} = R_{ph} \times V_{adega} \Leftrightarrow R_{ph} = \frac{\dot{V}}{V_{adega}} = \frac{2\,647,1}{72 \times 3} = \mathbf{12,3 \text{ renov./h}}$$

São então necessárias cerca de 13 renovações por hora. Contudo, estas são as renovações necessárias para a situação mais rigorosa, isto é, para a concentração total de  $\text{CO}_2$  por hora em dia de pico. Nos outros dias, em que decorre a fermentação alcoólica a concentração total de  $\text{CO}_2$  não é naturalmente a mesma que no dia de pico. Deste modo o débito de caudal de ventilação deve ser diferente. É neste caso vantajoso a instalação de uma sonda de  $\text{CO}_2$  no interior da sala de lagares e ligada ao sistema de ventilação a instalar.

### 3.3. Determinação da Capacidade Frigorífica para a Zona de Lagares

Esta capacidade representa a potência necessária para dimensionamento do grupo produtor de água fria a instalar (GPAF) ou geralmente designado também por chiller, de forma a manter as condições estacionárias pretendidas para o interior da sala de lagares e para o controlo da fermentação. É constituída pela dissipação de calor devido à fermentação alcoólica ( $\dot{Q}_{Ferm.}$ ) e pela capacidade total da bateria de arrefecimento ( $\dot{Q}_{BAF}$ ).

Assim sendo, a capacidade frigorífica ( $\dot{Q}_F$ ) requerida será dada por:

$$\dot{Q}_F = \dot{Q}_{Ferm.} + \dot{Q}_{BAF} \quad (3.7)$$

A dissipação de calor devido à fermentação alcoólica já é conhecida, esta foi determinada no ponto 3.1.5. Como foi demonstrado anteriormente, é no dia de pico que se devem incidir os maiores cuidados, dado que neste as necessidades de arrefecimento são maiores. A dissipação de calor devida à fermentação alcoólica é então:

$$\dot{Q}_{Ferm.} \cong 13,2 \text{ kW}$$

#### 3.3.1. Definição das Condições Exteriores

As condições de temperatura e humidade exteriores dependem do clima, logo, estas são função da localização da adega. Desta forma, considerou-se para este estudo, a título exemplar, a localização desta em Santarém.

Esta escolha deveu-se principalmente por Santarém ser uma das seis sub-regiões que constituem a Denominação de Origem do Ribatejo.

Situado no centro de Portugal, com uma vasta superfície agrícola utilizada, o Ribatejo encontra-se numa zona de transição climática, de forte influência mediterrânica, acompanhada por uma ascendência mais atlântica ou mais continental, consoante a latitude e orografia. O rio Tejo é ubíquo na paisagem ribatejana (Figura 9), sendo um dos principais responsáveis pelo clima, solo, e consequentemente pela fertilidade da região.



Figura 9: Rotas do vinho do Ribatejo [29].

Ao percorrer as paisagens da região, apercebemo-nos da existência de três zonas distintas de produção que variam consoante a proximidade do rio, o campo ou lezíria, o bairro e a charneca.

Aliado ao que foi tipo, esta região produz vinhos brancos e tintos de qualidade a um preço extraordinariamente competitivo. Os vinhos tintos DOC do Ribatejo derivam não só de castas tradicionais da região, como é o caso da Trincadeira ou do Castelão, mas também de outras castas nobres, como é o caso da Touriga Nacional, da Merlot ou da Cabernet Sauvignon. A casta branca Fernão Pires, extensamente cultivada na região, é praticamente indispensável na produção dos vinhos brancos do Ribatejo. A esta juntam-se outras castas típicas da região como é o caso da Tália, Arinto, Trincadeira das Pratas, Vital ou a casta internacional Chardonnay.

Independentemente da designação DOC ou vinho Regional, o *terroir* ribatejano sente-se em qualquer vinho da região, vinhos brancos muito frutados, de aromas tropicais ou florais e vinhos tintos aromáticos e de taninos suaves.

A época da vindima é determinada de acordo com o estado de maturação das uvas e das condições climatéricas. No entanto, normalmente o mês em que se iniciam as atividades vinícolas é o mês de setembro. Desta forma, para além da localização da adega, considerou-se também que as condições exteriores a definir são referentes ao mês de setembro.

Com base nos valores de quantis empíricos, média, desvio padrão e extremos referentes a Santarém, para a temperatura máxima diária do ar, presentes no Anexo C, definiu-se com uma probabilidade acumulada de ocorrência de 97,5%, uma temperatura exterior de 37,4 °C.

Após definição da temperatura, é necessário definir a humidade relativa para circunscrever as condições exteriores. A humidade relativa é definida com o auxílio de uma Carta Psicrométrica. Nesta procede-se à marcação dos pontos horários 9 e 18, para o mês de setembro, presentes na Normal Climatológica de Santarém (Anexo D). Cada ponto necessita, para a sua marcação, de duas propriedades e as presentes na Normal Climatológica são a temperatura de bolbo seco e a humidade relativa. Assim sendo, da Normal Climatológica de Santarém, temos:

Para as 9h:

$$T_{9h} = 19,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{9h} = 77\%$$

Para as 18h:

$$T_{18h} = 23,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{18h} = 60\%$$

A figura seguinte demonstra a metodologia utilizada para obtenção da humidade relativa exterior. Isto é, após marcação dos pontos horários ( $e_{9h}$  e  $e_{18h}$ ), com a temperatura de bolbo seco exterior ( $T_e$ ) e mantendo a humidade específica superior ( $\omega_e$ ), como exemplo na Figura 10, esta corresponde à do ponto horário 18, obtém-se na Carta Psicrométrica a localização do ponto ( $e_{ext.}$ ) que caracteriza as propriedades do ar exterior.

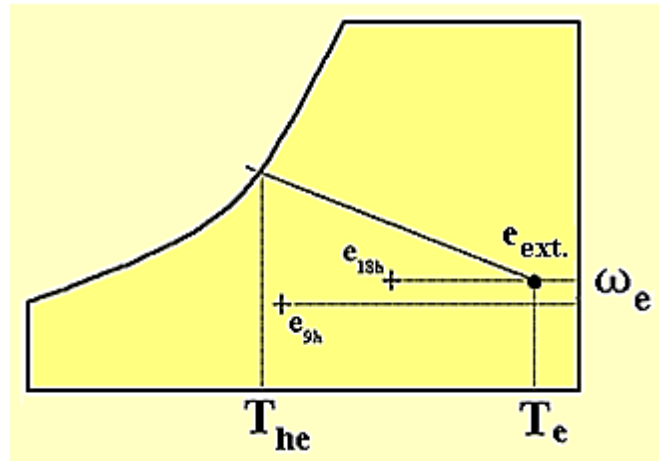


Figura 10: Representação da metodologia empregue para obtenção das propriedades do ar exterior.

No Anexo E, pode-se visualizar o que foi descrito anteriormente para a situação da localização da adega em Santarém. Deste modo, como a temperatura exterior é igual a 37,4 °C, mantendo a humidade específica superior ( $\omega_{18h} = \omega_{ext.} = 10,8$  g/kg ar seco) obteve-se da localização do ponto uma humidade relativa de 27%.

Assim as condições exteriores são:

$$T_{ext.} = 37,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_{ext.} = 27\%$$

### 3.3.2. Estimativa das Cargas Térmicas

Em concordância com Frade et al. [30], o ar contido num qualquer local, em cada instante, está submetido à ação de cargas térmicas, internas e externas, que lhe instigam alterações da temperatura e do teor de vapor de água.

Estas variações são provocadas, por exemplo, pela ação de fontes internas, como pessoas, iluminação, equipamentos e também, por exemplo, por transmissão de calor através da envolvente do local.

As cargas térmicas a estimar são as referentes às fontes internas na zona de lagares, à envolvente e ao ar novo. Estas dividem-se entre cargas térmicas devidas ao ar novo ( $\dot{Q}_{tAN}$ ) e ganhos de calor do local ( $\dot{Q}_{tL}$ ). O que se pretende de certo modo é a simulação do balanço térmico entre os ambientes interiores e exteriores da sala de lagares.

- Cargas térmicas devidas ao Ar Novo

As cargas térmicas devidas ao ar novo são repartidas entre cargas sensíveis ( $\dot{Q}_{sAN}$ ) e latentes ( $\dot{Q}_{lAN}$ ). Estas podem ser obtidas segundo as seguintes expressões:

- Calor sensível ar novo

$$\dot{Q}_{sAN} = l/s_{ar\ novo} \times 1,23 \times (T_{ext.} - T_{int.}) \quad (3.8)$$

$$\dot{Q}_{sAN} = 735,3 \times 1,23 \times (37,4 - 28) \cong 8\ 501,5\ W$$

- Calor latente ar novo

$$\dot{Q}_{lAN} = l/s_{ar\ novo} \times 3 \times (\omega_{ext.} - \omega_{int.}) \quad (3.9)$$

$$\dot{Q}_{lAN} = 735,3 \times 3 \times (10,8 - 11,8) \cong -2\ 205,9\ W$$

As cargas térmicas totais devidas ao ar novo são então:

$$\dot{Q}_{tAN} = \dot{Q}_{sAN} + \dot{Q}_{lAN} = 8\ 501,5 + (-2\ 205,9) = 6\ 295,6\ W$$

- Ganhos de Calor do Local

Em relação às fontes internas na zona de lagares as cargas térmicas a estimar são as referentes à ação das pessoas e à iluminação. As cargas térmicas relativas aos equipamentos não se consideram visto que não existe simultaneidade entre cargas.

No caso das pessoas, devido ao seu metabolismo humano, estas tanto imitem calor sensível ( $\dot{Q}_{sPess.}$ ) como latente ( $\dot{Q}_{lPess.}$ ). No entanto em relação à iluminação as fontes de calor referentes a elementos emissores de luz ou lâmpadas só apresentam ganhos de calor sensível ( $\dot{Q}_{sIllum.}$ ).

Na zona de lagares considerou-se a presença de três pessoas, isto na situação de pico da fermentação. Na Tabela 4 encontram-se valores de projeto, de calor sensível e latente, emitidos pelos seres humanos resultante dos processos metabólicos do organismo, que são função do tipo de atividade.

Tabela 4: Valores, de calor sensível e latente, emitidos pelo ser humano em função da temperatura seca do local e da atividade desenvolvida (adaptado da Carrier [31]).

Grau de Atividade	Tipo de Aplicação	Temperatura Seca do Local									
		28 °C		27 °C		26 °C		24 °C		21 °C	
		Sensível (kcal/h)	Latente (kcal/h)	Sensível (kcal/h)	Latente (kcal/h)	Sensível (kcal/h)	Latente (kcal/h)	Sensível (kcal/h)	Latente (kcal/h)	Sensível (kcal/h)	Latente (kcal/h)
Sentado, ou repouso	Teatro, escola primária	44	44	49	39	53	35	58	30	65	23
Sentado, trabalho muito leve	Escola secundária	45	55	48	52	54	46	60	40	68	32
Empregado de escritório	Escritório, hotel, apartamento, escola superior	45	68	50	63	54	59	61	52	71	42
Em pé, marcha lenta	Loja, <i>boutique</i>										
Sentado, em pé	Drogaria	45	81	50	76	55	71	64	62	73	53
Em pé, marcha lenta	Banco										
Sentado	Restaurante	48	91	55	84	61	78	71	68	81	58
<b>Trabalho leve</b>	<b>Fábrica</b>	<b>48</b>	<b>141</b>	55	134	62	127	74	115	92	97
Dança	Sala de dança	55	159	62	152	69	145	82	132	101	113
Marcha (5 km/h), trabalho bastante doloroso	Fábrica	68	184	76	176	83	169	96	156	116	136
Trabalho pesado	Pista de <i>bowling</i> , fábrica	113	252	117	248	122	243	132	233	152	213

Em relação à iluminação considerou-se uma densidade de iluminação baixa (5 W/m<sup>2</sup>, Tabela 5). Nas adegas, esta não pode ser elevada, a iluminação não deve ser muito forte, nem transmitir muito calor, de modo a não afetar a qualidade do vinho.

Tabela 5: Valores típicos da densidade de iluminação para ganhos de calor internos [32].

Nível de Ganhos	Iluminação (W/m <sup>2</sup> )
Baixo	5
Médio	15
Alto	25

- Calor sensível interior ( $\dot{Q}_{sInt.}$ )

$$\dot{Q}_{sPess.} = [Calor Sensível] \times n^o \text{ pessoas} \quad (3.10)$$

Sendo o calor sensível emitido por uma pessoa:

$$[\text{Calor Sensível}] = 48 \text{ kcal/h} \cong 56 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{sPess.} = 56 \times 3 = 168 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{sIllum.} = [\text{Densidade Iluminação}] \times \text{Área} \quad (3.11)$$

$$\dot{Q}_{sIllum.} = 5 \times 72 = 360 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{sInt.} = \dot{Q}_{sPess.} + \dot{Q}_{sIllum.} = 168 + 360 = 528 \text{ W}$$

- Calor latente interior ( $\dot{Q}_{Int.}$ )

$$\dot{Q}_{lPess.} = [\text{Calor Latente}] \times n^{\circ} \text{ pessoas} \quad (3.12)$$

Sendo o calor latente emitido por uma pessoa:

$$[\text{Calor Latente}] = 141 \text{ kcal/h} \cong 164 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{lPess.} = 164 \times 3 = 492 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{Int.} = \dot{Q}_{lPess.}$$

- Cargas térmicas referentes à Envolvente ( $\dot{Q}_{Env.}$ )

Desprezando os ganhos de calor respeitantes à radiação solar, relativamente a este tipo de cargas não se considerou a exposição de janelas ou outros elementos construtivos do local a climatizar. De modo a simular a inclusão dessas situações, apesar destas cargas térmicas serem função das propriedades térmicas dos materiais ou meios constituintes, considerou-se um coeficiente global de transmissão de calor majorante ( $U = 0,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ). Não obstante ao coeficiente global de transmissão de calor ponderado é necessário salientar que na conceção da adega é essencial isolar as paredes e teto, sendo que a solução mais fácil consiste na utilização de placas de poliuretano ou polistireno [33].

Deste modo as cargas térmicas referentes à envolvente são calculadas da seguinte forma:

$$\dot{Q}_{Env.} = U \times A_{Total} \times \Delta T = U \times A_{Total} \times (T_{ext.} - T_{int.}) \quad (3.13)$$

Sendo a área total ( $A_{Total}$ ) a área equivalente de quatro paredes exteriores, duas com 9,5 m de largura por 3,5 m de altura, as restantes com 8,5 m de largura por 3,5 m de altura e da cobertura com 9,5 m de comprimento e 8,5 m de largura.

$$A_{Total} = 206,75 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{Env.} = 0,5 \times 206,75 \times (37,4 - 28) = 971,7 \text{ W}$$

- Ganhos de Calor Sensível do Local ( $\dot{Q}_{sL}$ )

Os ganhos de calor sensível do local são então:

$$\dot{Q}_{sL} = \dot{Q}_{sInt.} + \dot{Q}_{Env.} = 528 + 971,7 = 1\,499,7 \text{ W}$$

Considerando um fator de segurança de 5% no cálculo anterior:

$$\dot{Q}_{sL} = 1\,499,7 + 5\% = 1\,574,7 \text{ W}$$

- Ganhos de Calor Latente do Local ( $\dot{Q}_{lL}$ )

Como os únicos ganhos de calor latente do local considerados são os devidos ao pessoal na zona de lagares, logo:

$$\dot{Q}_{lL} = \dot{Q}_{lInt.} = \dot{Q}_{lPess.} = 492 \text{ W}$$

Considerando um fator de segurança de 5% no cálculo anterior:

$$\dot{Q}_{lL} = 492 + 5\% = 516,6 \text{ W}$$

Somando ambas as parcelas obtêm-se os ganhos de calor totais do local:

$$\dot{Q}_{tL} = \dot{Q}_{sL} + \dot{Q}_{lL} = 1\,574,7 + 516,6 = 2\,091,3 \text{ W}$$

É de evidenciar que, na determinação das cargas térmicas internas, o erro associado ao cálculo destas é essencialmente devido ao desconhecimento da situação que efetivamente ocorre, ou seja, depende da atividade laboral de cada adegas.

### 3.3.3. Capacidade Total da Bateria de Arrefecimento

A Figura 11, pretende elucidar a constituição do tipo de unidade utilizada responsável pela renovação e tratamento de ar para a zona de lagares. Como se pode

evidenciar através da figura esta é constituída pela secção de entrada de ar, filtro, bateria de arrefecimento e ventilador.

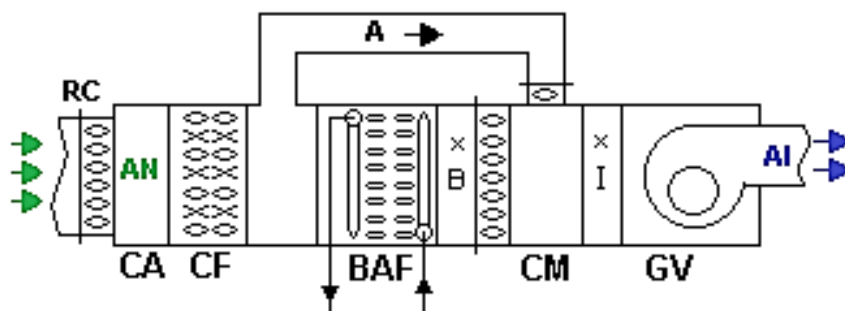


Figura 11: Exemplo do tipo da Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN).

No Subcapítulo 3.2, já foi calculado o caudal de ar novo (AN) necessário para satisfazer as exigências de ventilação da sala de lagares. Neste ponto, pretende-se calcular a potência total para a bateria de água fria (BAF) necessária para arrefecer o ar antes deste ser introduzido na zona de lagares através de grelhas ou de difusores. O ar é arrefecido pela circulação de água fria, produzida no GPAF.

A fim de determinar a capacidade total da bateria de arrefecimento partiu-se da imposição dum fator de *bypass* (FB). Este fator é função das características físicas e operacionais da bateria de arrefecimento, por exemplo, da superfície externa de troca de calor (número de tubos e separação entre alhetas), da temperatura de circulação da água fria, do caudal e velocidade de ar.

Com base na seguinte tabela, que apresenta valores de fatores de *bypass* típicos para diversas aplicações considerou-se para o cálculo um FB igual a 0,10.

Tabela 6: Fatores de *bypass* típicos para diferentes aplicações.

FB	Emprego	Exemplos
0,30 a 0,50	Aplicações com carga total pequena ou carga com baixo fator de calor sensível (alta carga latente)	Residência
0,20 a 0,30	Aplicações típicas de conforto com carga total pequena ou carga média com baixo fator de calor sensível	Residência Pequena loja Pequena oficina
0,10 a 0,20	Aplicações típicas de conforto	Banco Fábrica Loja
0,05 a 0,10	Aplicações com alta carga sensível ou locais que necessitam de grandes quantidades de ar exterior para ventilação	Loja Restaurante Fábrica
0,00 a 0,10	Aplicações com 100% de ar exterior	Hospital Fábrica

Devido à existência do FB, uma parte do ar exterior passará na bateria sem ser tratado. Como a temperatura equivalente de superfície da bateria de arrefecimento ( $T_{adp}$ ) é função do FB e do fator de calor sensível efetivo (fcsel). A linha representativa do fator de calor sensível efetivo serve para, passando pelo ponto referente às condições interiores da sala, determinar o ponto correspondente à temperatura equivalente de superfície da bateria.

O fcsel é então dado por:

$$f_{csel} = \frac{\dot{Q}_{sEL}}{\dot{Q}_{tEL}} = \frac{\dot{Q}_{sL} + \dot{Q}_{sAN} \times FB}{\dot{Q}_{tL} + \dot{Q}_{tAN} \times FB} \quad (3.14)$$

Para a situação a tratar e tendo em conta os valores estimados no ponto anterior para as cargas térmicas, o fcsel é igual a:

$$f_{csel} = \frac{1\,574,7 + 8\,501,5 \times 0,10}{2\,091,3 + 6\,295,6 \times 0,10} = 0,89$$

Traça-se, na Carta Psicrométrica, a reta de fcsel com a inclinação de 0,89 passando pelas condições interiores definidas para a sala de lagares e define-se graficamente a  $T_{adp}$  (Anexo F).

$$T_{adp} \cong 15,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

As baterias podem ter comportamentos diferentes consoante a sua  $T_{adp}$ . No Anexo F, é possível visualizar que a  $T_{adp}$  tem um valor superior ao ponto de orvalho do ar que entra na bateria. Deste modo, o ar não atinge a saturação, não sofrendo variação o teor de vapor nele contido, portanto a humidade específica permanece constante durante todo o processo. Ocorre assim o processo de arrefecimento sem desumidificação que caracteriza a bateria como seca.

Pelo princípio de igual temperatura e não escorregamento, o ar em contacto com as alhetas da bateria fica à temperatura da alheta, isto é, à  $T_{adp}$ , desenvolvendo-se ao longo da superfície da alheta uma camada limite térmica, na qual a temperatura tende a evoluir da  $T_{adp}$  para a temperatura do escoamento não perturbado, correspondente às condições de entrada na bateria, resultando num estado final com condições intermédias entre estes dois estados [30].

Este estado final, a posição do ponto de saída da bateria de arrefecimento, é calculado a partir da equação do FB, que é dada por:

$$FB = \frac{T_B - T_{adp}}{T_{ext.} - T_{adp}} \quad (3.15)$$

Da equação 3.15, a temperatura do ar à saída da bateria de arrefecimento ( $T_B$ ) é conseguida através de:

$$T_B = (T_{ext.} - T_{adp}) \times FB + T_{adp} \quad (3.16)$$

Para a situação a tratar, a  $T_B$  é igual a:

$$T_B = (37,4 - 15,7) \times 0,10 + 15,7 = 17,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

O ponto representativo das condições de saída da BAF, situa-se tanto mais próximo da condições ADP quanto menor for o valor do FB.

Para contrariar o efeito das cargas que atuam sobre o ar da sala de lagares, insufla-se ar a uma temperatura e humidade inferiores, de forma que sob o efeito das referidas cargas o estado final seja o pretendido em termos de temperatura e humidade no ambiente interior.

As condições de insuflação do ar no interior da sala de lagares são dadas através dos ganhos de calor do local:

- Temperatura de insuflação ( $T_I$ )

$$\dot{Q}_{SL} = 1,23 \times l/s \times (T_{int.} - T_I) \quad (3.17)$$

Da anterior equação, a temperatura de insuflação do ar é conseguida através de:

$$T_I = T_{int.} - \frac{\dot{Q}_{SL}}{1,23 \times l/s} \quad (3.18)$$

$$T_I = 28 - \frac{1\,574,7}{1,23 \times 735,3} = 26,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Humidade específica de insuflação ( $\omega_I$ )

$$\dot{Q}_{IL} = 3 \times l/s \times (\omega_{int.} - \omega_I) \quad (3.19)$$

Da anterior equação, a humidade específica de insuflação do ar é conseguida através de:

$$\omega_I = \omega_{int.} - \frac{\dot{Q}_{IL}}{3 \times l/s} \quad (3.20)$$

$$\omega_I = 11,8 - \frac{516,6}{3 \times 735,3} = 11,6 \text{ g/kg ar seco}$$

Para cumprir as condições de insuflação optou-se por realizar um *bypass* artificial (processo caracterizado pela secção A na Figura 11).

Com é possível verificar no Anexo F o ar de insuflação na sala de lagares (ponto I), como é resultado duma mistura de caudais provocada pelo *bypass* artificial, encontra-se sobre a reta definida pelos pontos representativos de cada massa de ar (*B* e *ext.*).

Esta condição faz com que o ar insuflado no interior da sala de lagares contrarie corretamente o efeito das cargas sensíveis do local, no entanto o mesmo não acontece em relação às cargas latentes.

Pode-se comprovar no Anexo F, e com base no fator de calor sensível local (*f<sub>csl</sub>*), lugar geométrico dos pontos que servem para a insuflação do ar no ambiente:

$$f_{csl} = \frac{\dot{Q}_{sL}}{\dot{Q}_{tL}} \quad (3.21)$$

$$f_{csl} = \frac{1\ 574,7}{2\ 091,3} = 0,75$$

Que o estado final do ar na sala de lagares em termos de humidade não é o pretendido ( $\varphi_{int.} = 50\%$ ) mas um pouco inferior ( $\varphi_{int.R} = 46,5\%$ ). Todavia as condições interiores reais mantêm-se dentro de valores desejados, visto que não se trata duma diferença brusca de humidade e com referência à Tabela 1, na fermentação alcoólica não existem grandes exigências no controlo da humidade. Contudo no caso de

se tratar, por exemplo, de estágio em barricas de madeira o controlo rigoroso de humidade é imprescindível.

Dado o processo de evolução do ar na câmara de mistura (CM) representado pela seguinte figura:

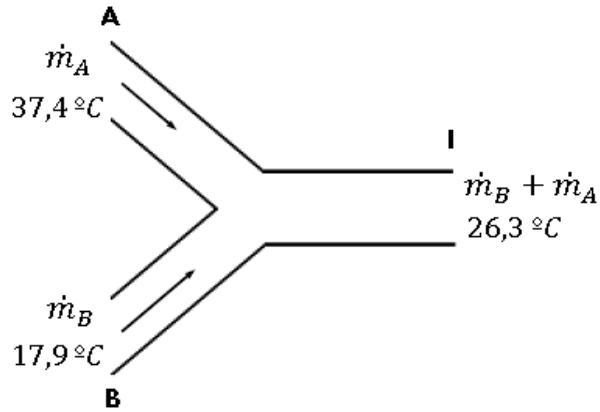


Figura 12: Mistura de caudais provocada pelo *bypass* artificial.

Pelo princípio da conservação da massa:

$$\dot{m}_{ar} = \dot{m}_B + \dot{m}_A \quad (3.22)$$

E pelo balanço energético:

$$\dot{m}_A \cdot T_{ext.} + \dot{m}_B \cdot T_B = \dot{m}_{ar} \cdot T_I \quad (3.23)$$

A partir das equações 3.22 e 3.23 anteriores, o caudal que não passa na bateria (débito de ar que passa na secção A) é então dado por:

$$\dot{m}_A = \dot{m}_{ar} \cdot \frac{T_I - T_B}{T_{ext.} - T_B} \quad (3.24)$$

O  $\dot{m}_{ar}$  foi calculado no ponto 3.2.3:

$$\dot{m}_{ar} = 3\,045,5\text{ kg/h} = 0,846\text{ kg/s}$$

Logo, dada a equação 3.24:

$$\dot{m}_A = 0,846 \cdot \frac{26,3 - 17,9}{37,4 - 17,9} = 0,364\text{ kg/s}$$

A Carta Psicrométrica presente no Anexo F, expõe a evolução do ar desde o exterior até ao interior da sala de lagares. Esta serve também para auxiliar o cálculo da capacidade total da BAF aqui explicado.

A utilização destes diagramas permite a análise gráfica de dados e processos psicrométricos, facilitando deste modo a solução de muitos problemas práticos referentes ao ar que de um outro modo requeriam soluções matemáticas mais elaboradas [34].

Portanto, a capacidade total da BAF, que conduz o ar desde as condições exteriores até às condições do ponto *B* é dada por:

$$\dot{Q}_{BAF} = \dot{m}_B \times (h_{ext.} - h_B) \quad (3.25)$$

Com todos os processos e pontos definidos, como apresentado na Carta do Anexo F, torna-se mais fácil trabalhar com a propriedade entalpia:

$$\dot{m}_B = \dot{m}_{ar} - \dot{m}_A = 0,846 - 0,364 = 0,482 \text{ kg/s}$$

$$h_{ext.} \cong 65,75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_B \cong 45,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{BAF} = 0,482 \times (65,75 - 45,5) \cong 9,8 \text{ kW}$$

Sendo a Figura 11 representativa do sistema na Carta Psicrométrica presente no Anexo F, com base no que foi anteriormente demonstrado, o significado dos pontos e linhas nela representada são:

- Ponto *int.* – Condições interiores definidas
- Ponto *ext.* – Condições exteriores
- Ponto *adp* – Condições do ar que entra em contacto com as alhetas da bateria, isto é, à temperatura da alheta
- Ponto *PO* – Ponto de orvalho do ar que entra na bateria
- Ponto *B* – Condições do ar à saída da BAF
- Ponto *I* – Condições de insuflação na sala
- Ponto *int.<sub>R</sub>* – Condições interiores reais
- Reta  $\overline{int._R}$  – Linha característica da sala com declive definido pelo fcs1
- Reta  $\overline{int. adp}$  – Linha imaginária com declive definido pelo fcsel

Por fim, em função do que foi delineado para o Subcapítulo 3.3, conforme a equação 3.7, a capacidade frigorífica requerida e naturalmente a potência a garantir pelo GPAF a instalar é de:

$$\dot{Q}_F = 13,2 + 9,8 = 23,0 \text{ kW}$$

### 3.4. Determinação da Potência Elétrica para a Zona de Lagares

Esta potência permite caracterizar o consumo energético, na situação mais exigente, do sistema de climatização sugerido para a sala de lagares. É composta pela potência elétrica absorvida pelo GPAF ( $\dot{W}_F$ ) e pela potência elétrica total associada à ventilação ( $\dot{W}_{Vent.}$ ).

Por conseguinte, a potência elétrica ( $\dot{W}_{EL.}$ ) a garantir será dada por:

$$\dot{W}_{EL.} = \dot{W}_F + \dot{W}_{Vent.} \quad (3.26)$$

#### 3.4.1. Potência Chiller

Como já foi expresso neste trabalho, o chiller produz água fria, esta não é utilizada diretamente no espaço a climatizar, é no entanto conduzida até à bateria da UTAN onde é utilizada para arrefecer o ar a insuflar na zona de lagares, e também até aos permutadores presentes nos lagares onde é usada para arrefecimento do mosto em fermentação.

A eficácia do GPAF depende da relação entre a potência térmica removida e a potência elétrica necessária para o seu funcionamento, quer dizer a energia elétrica consumida principalmente pelo compressor. A relação entre estas potências é designada de Eficiência Energética em Arrefecimento (EER) e é dada por:

$$EER = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{W}_F} \quad (3.27)$$

Em conformidade com Carvalheira [18], de um ponto de vista prático, um GPAF pode fornecer 1 a 3 vezes mais energia frigorífica que consome de energia elétrica. Tendo em consideração, que quanto maior é a EER mais eficiente é o sistema considerou-se para o estudo em causa o valor de 2,5. Logo a potência elétrica absorvida por parte do chiller é conseguida da seguinte forma:

$$W_F = \frac{\dot{Q}_F}{2,5} \quad (3.28)$$

A  $\dot{Q}_F$  foi calculada no ponto 3.3.3:

$$\dot{Q}_F = 23,0 \text{ kW}$$

Logo, com base na equação 3.28:

$$W_F = \frac{23,0}{2,5} = 9,2 \text{ kW}$$

### 3.4.2. Estimativa Potência de Ventilação

De forma a garantir as condições ambientais de segurança e higiene na zona de lagares, pretende-se aqui avaliar a energia requerida associada à renovação do ar interior para a situação de pico.

O caudal de ventilação é uma das considerações gerais no planeamento de um sistema de climatização, tendo um grande impacto no consumo energético do sistema. Por exemplo, um caudal de ventilação maior do que o pretendido exige ventiladores sobredimensionados. Note-se que é importante não confundir a energia transmitida ao ar numa unidade de tratamento de ar (UTA) ou UTAN com a energia despendida pela instalação. Idênticas evoluções sofridas por um caudal de ar podem resultar em consumos energéticos muito distintos consoante a forma como são produzidos os processos de evolução do ar. Isto é, o consumo energético depende do sistema de climatização e dos equipamentos escolhidos.

Também é importante compreender que não se pode apurar quanto ao consumo duma UTA ou UTAN conhecendo unicamente os seus componentes/equipamentos constituintes. O consumo duma UTA ou UTAN depende também do controlo utilizado e das condições de funcionamento [35].

O sistema de climatização preconizado para a sala de lagares possui dois ventiladores. Um presente na unidade de insuflação (Figura 11) e o outro na unidade de extração. Assim, com vista a estimar a potência de ventilação, dada pela seguinte equação:

$$\dot{W}_{Vent.} = \dot{W}_{Ins.} + \dot{W}_{Extr.} \quad (3.29)$$

Utilizou-se a ferramenta WinClim II do fabricante Wesper [36] para determinar a potência de ventilação de insuflação ( $\dot{W}_{Ins.}$ ) e a de extração ( $\dot{W}_{Extr.}$ ).

Este programa é caracterizado por ser um *software* de seleção e dimensionamento dos elementos constituintes de cada unidade uma vez conhecidos, entre outros, os caudais requeridos, as condições de temperatura e humidade relativa do ar, temperaturas do fluido térmico usado nas baterias, perdas de carga da instalação e nível de filtragem.

- Unidade de Insuflação

Em relação à unidade de insuflação é preciso ter cuidado quanto à velocidade frontal máxima na bateria de arrefecimento. Como nas baterias de arrefecimento podem ocorrer condensações, a velocidade frontal máxima nestas não deve ser superior a 2,7 m/s, tendo em conta o arrastamento de gotículas pela corrente de ar.

Para o grupo ventilador desta unidade selecionou-se um ventilador de acoplamento direto (Ventilador Plug Fan) em detrimento do de correia. Caso contrário, deverá existir um nível de filtragem a jusante da sua colocação.

Tendo em conta os seguintes dados de entrada e passos realizados no programa representados no Anexo G:

- Caudais de ar

Caudal de ar insuflação = 2 647,1 m<sup>3</sup>/h

Velocidade frontal máx. = 2,7 m/s

Temperatura exterior de projeto = 37,4 °C

Relação mistura (ar recirc./ar insuflação) = 0%

- Filtro sintético G4

- Bateria de arrefecimento (6 fiadas → 14 circuitos)

Entrada de ar = 37,4 °C e humidade = 27%

Saída de ar = 17,9 °C

Entrada do fluido = 7 °C

Dt fluido = 5 K

0% de Glicol

Material da bateria:  $Cu/Al$

- Ventilador Plug Fan

Pressão estática = 300 Pa

RPM margin = 5%

A constituição da unidade dada pelo *software* tem o seguinte aspeto:

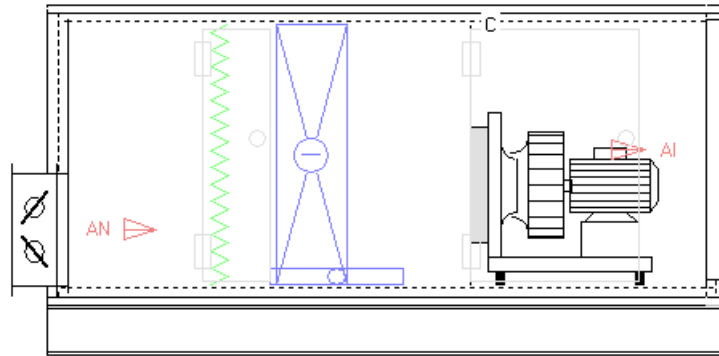


Figura 13: Constituição da Unidade de Insuflação selecionada através do *software*.

Verifica-se, através da figura acima, a não existência de *bypass* artificial, isto ocorre por limitação do *software*, no entanto para avaliação da  $\dot{W}_{Ins.}$  a variável essencial é o caudal de ar de insuflação.

Perfazendo, a  $\dot{W}_{Ins.}$  é igual a:

$$\dot{W}_{Ins.} = 1,1 \text{ kW}$$

- Unidade de Extração

Relativamente à unidade de extração, não existe bateria, portanto a velocidade máxima pode ser superior. Nesta também se escolheu Ventilador Plug Fan.

Sendo os seguintes dados de entrada e cumprindo as diversas etapas dispostas pelo *software* representadas no Anexo H:

- Caudais de ar

Caudal de ar retorno = 2 647,1  $m^3/h$

Velocidade frontal máx. = 3,5  $m/s$

Temperatura exterior de projeto = 37,4  $^{\circ}C$

Relação mistura (ar recirc./ar insuflação) = 0%

- Filtro sintético G4
  - Ventilador Plug Fan
- Pressão estática = 200 Pa
- RPM margin = 5%

A constituição da unidade dada pelo *software* tem o seguinte aspeto:

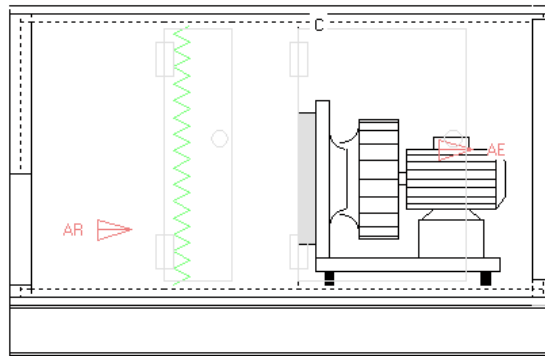


Figura 14: Constituição da Unidade de Extração selecionada através do *software*.

Perfazendo, a  $\dot{W}_{Extr.}$  é igual a:

$$\dot{W}_{Extr.} = 0,75 \text{ kW}$$

Logo, da equação 3.29, para a  $\dot{W}_{Vent.}$ , temos:

$$\dot{W}_{Vent.} = 1,1 + 0,75 = 1,85 \text{ kW}$$

Deposto isto, a  $\dot{W}_{El.}$ , dada pela equação 3.26 é igual a:

$$\dot{W}_{El.} = 9,2 + 1,85 = 11,05 \text{ kW}$$



## Capítulo 4

### Fermentação Alcoólica em 8 dias

No seguimento do que foi demonstrado no Capítulo 3, referente à fermentação alcoólica em 5 dias, neste capítulo pretende-se também apresentar o cálculo das necessidades de ventilação e de refrigeração para a produção de vinho tinto num total de 20 000 l de mosto, contudo com fermentação alcoólica durante 8 dias.

A Tabela 7 apresenta valores tipo referentes à evolução de uma fermentação de mosto de vinho tinto, ao longo dos 8 dias para um total de 10 000 l de mosto.

Tabela 7: Dados da fermentação alcoólica em 8 dias.

Dia	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
Energia (kcal)	31 500	73 500	<b>105 000</b>	94 500	63 000	42 000	31 500	21 000
Energia (MJ)	131,9	307,7	<b>439,6</b>	395,7	263,8	175,8	131,9	87,9
° GL	0,955	2,227	<b>3,182</b>	2,864	1,909	1,273	0,955	0,636
° GL Acumulado	0,955	3,182	6,364	9,227	11,136	12,409	13,364	14,000
CO <sub>2</sub>	84,0	196,0	<b>280,0</b>	252,0	168,0	112,0	84,0	56,0
CO <sub>2</sub> Acumulado	84,0	280,0	560,0	812,0	980,0	1092,0	1176,0	1232,0
(° GL/14) x 100%	6,8%	15,9%	<b>22,7%</b>	20,5%	13,6%	9,1%	6,8%	4,6%

Como no Capítulo anterior, a tabela referente aos dados da fermentação alcoólica permite construir o gráfico seguinte. Este caracteriza a evolução do grau alcoólico na produção do vinho tinto ao longo dos 8 dias de fermentação. Consegue-se verificar que no final da fermentação também se atingiu o teor alcoólico de 14° GL.



Gráfico 2: Evolução do teor alcoólico ao longo dos 8 dias de fermentação.

Com base na Tabela 7, consegue-se identificar qual é o dia de pico dos 8 dias de fermentação. Apura-se que o dia de pico é o 3º dia de fermentação e que corresponde a um ganho no teor alcoólico de 3,182° GL.

De seguida, demonstra-se o cálculo da potência necessária para remover a energia produzida nesse dia, bem como a ventilação necessária para que a produção de CO<sub>2</sub> não apresente concentrações acima das aceitáveis.

#### 4.1. Perdas na Zona de Lagares (Dia de Pico de Fermentação)

##### 4.1.1. Dissipação de calor (por kg de mosto)

$$3,182^{\circ} GL \times 3,3 kcal/^{\circ} GL = 10,501 kcal$$

$$= 43,966 kJ$$

##### 4.1.2. Libertação de CO<sub>2</sub> (por kg de mosto)

$$3,182^{\circ} GL \times 8,8 g de CO_2/^{\circ} GL = 28,002 g de CO_2$$

Para os 20 000 kg de Sumo de Fermentação obtém-se:

##### 4.1.3. Dissipação de calor (por 20 000 kg de Sumo de Fermentação)

$$20\ 000 kg \times 10,501 kcal/kg = 210\ 020,0 kcal$$

$$= 879\ 311,724 kJ$$

#### **4.1.4. Libertação de CO<sub>2</sub> (por 20 000 kg de Sumo de Fermentação)**

$$\begin{aligned} 20\,000\text{ kg} \times 28,002\text{ g de CO}_2/\text{kg} &= 560\,040,0\text{ g de CO}_2 \\ &= 560,040\text{ kg de CO}_2 \end{aligned}$$

Assumindo que a fermentação alcoólica é constante durante as 24 horas do dia de pico, obtém-se:

#### **4.1.5. Dissipação de calor (por hora em dia de Pico)**

$$\begin{aligned} 210\,020,0\text{ kcal} \div 24\text{ h} &= 8\,750,8\text{ kcal/h} \\ &= 2\,430,8\text{ cal/s} \\ &\cong \mathbf{10,2\text{ kW}} \end{aligned}$$

#### **4.1.6. Libertação de CO<sub>2</sub> (por hora em dia de Pico)**

$$560,040\text{ kg de CO}_2 \div 24\text{ h} = \mathbf{23,335\text{ kg de CO}_2/\text{h}}$$

### **4.2. Determinação das Necessidades de Ventilação para a Zona de Lagares**

Como as consequências para a saúde dos trabalhadores dependem essencialmente do teor de oxigénio, da quantidade de CO<sub>2</sub> proveniente do ar exterior fornecida ao ar ambiente da adega, do CO<sub>2</sub> produzido através da fermentação e do tempo de exposição, pode-se caucionar que é expectável uma diminuição das necessidades de ventilação na fermentação alcoólica em 8 dias, em comparação com as necessidades exigidas na fermentação alcoólica em 5 dias. Isto advém porque existe uma diminuição do grau alcoólico no dia de pico e conseqüentemente uma menor produção de CO<sub>2</sub>.

O processo de cálculo das necessidades de ventilação para uma fermentação alcoólica em 8 dias é o mesmo que o apresentado no capítulo anterior referente à fermentação alcoólica em 5 dias.

#### **4.2.1. Massa de ar seco**

Como a massa de ar seco é conseguida através das condições interiores da zona de lagares e dado que não depende da duração da fermentação, o valor desta é igual ao demonstrado no ponto 3.2.1, referente à fermentação alcoólica em 5 dias:

$$m_{adega} = 248,5 \text{ kg ar seco}$$

#### 4.2.2. Concentração de CO<sub>2</sub>

A metodologia de cálculo para obtenção da concentração de CO<sub>2</sub> presente na zona de lagares para uma fermentação alcoólica em 8 dias é a mesma que a apresentada no ponto 3.2.2, alusivo à fermentação alcoólica em 5 dias.

Dado que a concentração de CO<sub>2</sub> presente na zona de lagares resulta do ar exterior e da sua produção durante a fermentação alcoólica, relativamente ao CO<sub>2</sub> que provém do ar exterior este não deriva da duração da fermentação, assim sendo o valor deste é igual a:

$$m_{CO_2} = 0,124 \text{ kg de } CO_2$$

Adicionando a este valor os kg de CO<sub>2</sub> libertados durante a fermentação, por hora e em dia de pico, obtém-se o total de CO<sub>2</sub>:

$$Total \text{ de } CO_2 = 0,124 + 23,335 = 23,459 \text{ kg de } CO_2/h$$

A concentração total de CO<sub>2</sub> na zona de lagares é então:

$$1.000\ 000 \text{ kg ar} \rightarrow n^\circ \text{ ppm}$$

$$m_{adega} \rightarrow 23,459 \text{ kg de } CO_2/h$$

$$n^\circ \text{ ppm} = \frac{1.000\ 000 \times 23,459}{m_{adega}} = \frac{1.000\ 000 \times 23,459}{248,5} = 94\ 402,4 \text{ ppm}$$

#### 4.2.3. Renovações de ar

Como já foi referido anteriormente, as renovações de ar necessárias devem assegurar condições ambientais de segurança e higiene para a zona de lagares, é então essencial garantir que as concentrações de CO<sub>2</sub> não transponham certos valores. Adotou-se o mesmo valor de 10 000 ppm, visível no Anexo B, como limite de concentração máximo admissível.

O número de renovações para que a concentração total de CO<sub>2</sub>, não ultrapasse a concentração de 10 000 ppm, é determinado segundo a metodologia de cálculo presente no ponto 3.2.3:

$$\dot{m}_{ar} = \frac{n^{\circ} ppm \times m_{adega}}{10\ 000} = \frac{94\ 402,4 \times 248,5}{10\ 000} = 2\ 345,9\ kg/h$$

Sendo o  $v_{int.} = 0,8692\ m^3/kg$  ar seco e de acordo com a equação 3.5, o caudal de ventilação requerido é de:

$$\begin{aligned}\dot{V} &= 2\ 345,9 \times 0,8692 = 2\ 039,1\ m^3/h \\ &= 566,4\ l/s\end{aligned}$$

Como o caudal de ventilação pode ser relacionado com o número de renovações, segundo a equação 3.6, o número de renovações necessárias para a zona de lagares, para que a concentração total de CO<sub>2</sub> não transponha a concentração máxima admissível é:

$$R_{ph} = \frac{\dot{V}}{V_{adega}} = \frac{2\ 039,1}{72 \times 3} = \mathbf{9,4\ renov./h}$$

São então necessárias cerca de 10 renovações por hora. Estas são as renovações necessárias, em dia de pico, para uma fermentação alcoólica de 8 dias.

#### **4.3. Determinação da Capacidade Frigorífica para a Zona de Lagares**

Como já foi referido no Subcapítulo 3.3, esta potência representa a potência frigorífica necessária para dimensionamento dos eventuais equipamentos a instalar, de forma a manter as condições estacionárias pretendidas para o interior da sala de lagares e para o controlo da fermentação. Em comparação com a obtida na fermentação em 5 dias, é plausível que esta, numa fermentação alcoólica em 8 dias, seja inferior. Isto porque, em dia de pico, as necessidades de ventilação são menores e existe uma diminuição da dissipação de calor devido à fermentação alcoólica.

A dissipação de calor devido à fermentação alcoólica foi determinada no ponto 4.1.5:

$$\dot{Q}_{Ferm.} \cong 10,2\ kW$$

A metodologia de cálculo desta capacidade para uma fermentação alcoólica em 8 dias é a mesma que a apresentada no Subcapítulo 3.3 referente à fermentação alcoólica em 5 dias.

### 4.3.1. Definição das Condições Exteriores

As condições exteriores são função da localização da adega. Com base no que foi mencionado no ponto 3.3.1, para a localização desta em Santarém e para o mês de setembro as condições exteriores são:

$$T_{ext.} = 37,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\varphi_{ext.} = 27\%$$

A Carta Psicrométrica presente no Anexo E expõe as propriedades do ar exterior (ponto  $e_{ext.}$ ).

### 4.3.2. Estimativa das Cargas Térmicas

É sabido que o ar contido num qualquer local, em cada instante, está sujeito à ação de cargas térmicas que lhe impelem variações da temperatura e do teor de vapor de água.

Independentemente da duração da fermentação, como foi citado no ponto 3.3.2, as cargas térmicas a estimar são as referentes às fontes internas na zona de lagares, à envolvente e ao ar novo.

- Cargas térmicas devidas ao Ar Novo

- Calor sensível ar novo

Da equação 3.8:

$$\dot{Q}_{SAN} = 566,4 \times 1,23 \times (37,4 - 28) = 6\,548,7 \text{ W}$$

- Calor latente ar novo

Da equação 3.9:

$$\dot{Q}_{LAN} = 566,4 \times 3 \times (10,8 - 11,8) = -1\,699,2 \text{ W}$$

As cargas térmicas totais devidas ao ar novo são então:

$$\dot{Q}_{TAN} = \dot{Q}_{SAN} + \dot{Q}_{LAN} = 6\,548,7 + (-1\,699,2) = 4\,849,5 \text{ W}$$

- Ganhos de Calor do Local

As cargas térmicas a estimar para o interior da sala de lagares são as referentes à ação das pessoas e à iluminação. Dado que não se consideram as cargas térmicas

relativas aos equipamentos e assumindo que independentemente da duração da fermentação a densidade de iluminação avaliada é a mesma, e que o número de pessoal na zona de lagares na situação de pico da fermentação não se altera, as cargas térmicas referentes ao interior da zona de lagares são:

- Calor sensível interior

$$\dot{Q}_{sInt.} = 528 \text{ W}$$

- Calor latente interior

$$\dot{Q}_{lInt.} = 492 \text{ W}$$

- Cargas térmicas referentes à Envolvente

Estas cargas apesar de serem função das propriedades térmicas dos materiais ou meios constituintes e de se ter considerado no ponto 3.3.2 um coeficiente global de transmissão de calor igual a  $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , não dependem da duração da fermentação. Portanto, o valor destas é dado pela equação 3.13, e igual ao correspondente calculado para uma fermentação alcoólica em 5 dias.

$$\dot{Q}_{Env.} = 971,7 \text{ W}$$

Como as cargas térmicas referentes ao interior da zona de lagares não se alteram, os ganhos de calor, sensível e latente do local, são então:

- Ganhos de Calor Sensível do Local

$$\dot{Q}_{sL} = 1\,574,7 \text{ W}$$

- Ganhos de Calor Latente do Local

$$\dot{Q}_{lL} = 516,6 \text{ W}$$

Somando ambas as parcelas obtêm-se os ganhos de calor totais do local:

$$\dot{Q}_{tL} = \dot{Q}_{sL} + \dot{Q}_{lL} = 1\,574,7 + 516,6 = 2\,091,3 \text{ W}$$

#### **4.3.3. Capacidade Total da Bateria de Arrefecimento**

De forma análoga ao ponto 3.3.3 pretende-se aqui calcular a potência total para a BAF, necessária para arrefecer o ar antes de ser introduzido na zona de lagares. Independentemente da duração da fermentação, a constituição do tipo de unidade

utilizada, responsável pela renovação e tratamento de ar para a zona de lagares, é representada na Figura 11.

Como o  $f_{csel}$  é dado pela equação 3.14, para a situação aqui a tratar e tendo em conta os valores estimados no ponto anterior para as cargas térmicas, o  $f_{csel}$  é igual a:

$$f_{csel} = \frac{1\,574,7 + 6\,548,7 \times 0,10}{2\,091,3 + 4\,849,5 \times 0,10} = 0,87$$

Traçando-se na Carta Psicrométrica (Anexo I) a reta de  $f_{csel}$ , com a inclinação de 0,87 passando pelas condições interiores definidas para a sala de lagares, a  $T_{adp}$  é igual a:

$$T_{adp} \cong 15,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

No Anexo I, é possível visualizar que a  $T_{adp}$  tem um valor superior ao ponto de orvalho do ar que entra na bateria, ocorre assim, como no caso para os 5 dias de fermentação (Anexo F), o processo de arrefecimento sem desumidificação.

A posição do ponto de saída da BAF é calculada a partir da equação 3.16, desta a temperatura do ar à saída é:

$$T_B = (37,4 - 15,6) \times 0,10 + 15,6 = 17,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

As condições de insuflação do ar no interior da sala de lagares são dadas através dos ganhos de calor do local. Da equação 3.18 e 3.20, a temperatura e humidade de insuflação do ar são respetivamente:

$$T_I = 28 - \frac{1\,574,7}{1,23 \times 566,4} = 25,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\omega_I = 11,8 - \frac{516,6}{3 \times 566,4} = 11,5 \text{ g/kg ar seco}$$

O ar de insuflação na sala de lagares (ponto *I*) encontra-se sobre a reta definida pelos pontos *B* e *ext.* (Anexo I).

O ar insuflado no interior da sala de lagares contraria corretamente o efeito das cargas sensíveis do local. No entanto o mesmo não acontece em relação às cargas

latentes. Pode-se comprovar no Anexo I e com base no  $f_{csl}$ , que não depende da duração da fermentação, igual a:

$$f_{csl} = 0,75$$

Que o estado final do ar na sala de lagares em termos de humidade não é o pretendido mas um pouco inferior. Porém, e como fora explicado no ponto 3.3.3, para a situação dos 5 dias de fermentação, as condições interiores reais mantêm-se dentro de valores desejados.

Sendo o processo de evolução do ar na CM provocado pelo *bypass* artificial, pelo princípio da conservação da massa e pelo balanço energético da mistura de caudais, o caudal que não passa na bateria, dado pela equação 3.24 é:

$$\dot{m}_A = \dot{m}_{ar} \cdot \frac{25,7 - 17,8}{37,4 - 17,8}$$

Tendo sido o  $\dot{m}_{ar}$  calculado no ponto 4.2.3:

$$\dot{m}_{ar} = 2\,345,9 \text{ kg/h} = 0,652 \text{ kg/s}$$

Por fim, o  $\dot{m}_A$  fica:

$$\dot{m}_A = 0,652 \cdot \frac{25,7 - 17,8}{37,4 - 17,8} = 0,263 \text{ kg/s}$$

A Carta Psicrométrica, presente no Anexo I, expõe a evolução do ar desde o exterior até ao interior da sala de lagares. Com todos os processos e pontos definidos, a capacidade total da BAF, que conduz o ar desde as condições exteriores até às condições do ponto *B*, dada pela equação 3.25 é de:

$$\dot{m}_B = \dot{m}_{ar} - \dot{m}_A = 0,652 - 0,263 = 0,389 \text{ kg/s}$$

$$h_{ext.} \cong 65,75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_B \cong 45,35 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{BAF} = 0,389 \times (65,75 - 45,35) \cong 7,9 \text{ kW}$$

Sendo a Figura 11 representativa da constituição da unidade de insuflação do sistema de climatização preconizado para a sala de lagares, independente da duração de

fermentação, o significado dos pontos e linhas representados no Anexo I são os mesmos dos do Anexo F.

Deposto isto, através da equação 3.7, a capacidade frigorífica para a zona de lagares é então:

$$\dot{Q}_F = 10,2 + 7,9 = 18,1 \text{ kW}$$

#### **4.4. Determinação da Potência Elétrica para a Zona de Lagares**

Como anteriormente citado no Subcapítulo 3.4, esta potência representa o consumo energético previsto, na situação de pico, para manter as condições estacionárias definidas e para controlo da fermentação do sistema de climatização preconizado para a sala de lagares.

Ao confrontar-se a potência aqui a calcular com a obtida na fermentação em 5 dias é admissível que esta seja inferior, isto porque, as necessidades de ventilação são menores e o mesmo acontece com a capacidade frigorífica.

O processo de cálculo desta potência é a mesma que a do Subcapítulo 3.4.

##### **4.4.1. Potência Chiller**

De modo similar ao ponto 3.4.1, pretende-se calcular a potência elétrica absorvida por parte do chiller, para o caso aqui a tratar referente aos 8 dias de fermentação.

Sendo a eficácia do GPAF dependente da EER, esta potência é determinada segundo a equação 3.28:

Tendo sido a  $\dot{Q}_F$  determinada no ponto 4.3.3:

$$\dot{Q}_F = 18,1 \text{ kW}$$

Logo:

$$\dot{W}_F = \frac{18,1}{2,5} = 7,24 \text{ kW}$$

#### 4.4.2. Estimativa Potência de Ventilação

Semelhante ao ponto 3.4.2 pretende-se neste, estimar a potência necessária referente à renovação do ar interior para a situação de pico, com vista a garantir as condições ambientais de segurança e higiene na zona de lagares.

Como é sabido, para determinar as potências de ventilação de insuflação e de extração utilizou-se o programa de seleção e dimensionamento WinClim II.

- Unidade de Insuflação

Tendo em consideração as etapas representadas no Anexo G, que caracterizam os passos realizados no *software* para determinação da  $\dot{W}_{Ins.}$  no caso duma duração de 5 dias de fermentação, neste caso, para uma duração de 8 dias de fermentação o processo é o mesmo, a única diferença está nos valores de alguns dados de entrada:

- Caudais de ar

$$\text{Caudal de ar insuflação} = 2\,039,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Velocidade frontal máx.} = 2,7 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatura exterior de projeto} = 37,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Relação mistura (ar recirc./ar insuflação)} = 0\%$$

- Filtro sintético G4

- Bateria de arrefecimento (6 fiadas  $\rightarrow$  14 circuitos)

$$\text{Entrada de ar} = 37,4 \text{ }^\circ\text{C} \text{ e humidade} = 27\%$$

$$\text{Saída de ar} = 17,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Entrada do fluido} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Dt fluido} = 5 \text{ K}$$

$$0\% \text{ de Glicol}$$

$$\text{Material da bateria: Cu/Al}$$

- Ventilador Plug Fan

$$\text{Pressão estática} = 300 \text{ Pa}$$

$$\text{RPM margin} = 5\%$$

Sendo o aspeto da unidade dado pelo *software* idêntico ao da Figura 13, de posto isto, a  $\dot{W}_{Ins.}$  é igual a:

$$\dot{W}_{Ins.} = 0,64 \text{ kW}$$

- Unidade de Extração

Os passos exibidos no Anexo H representam o processo realizado no *software* para determinação da  $\dot{W}_{Extr.}$  no caso duma duração de 5 dias de fermentação. Nesta situação a tratar, para uma duração de 8 dias de fermentação, os procedimentos são idênticos, a única diferenciação encontra-se nos valores de alguns dados de entrada:

- Caudais de ar

$$\text{Caudal de ar retorno} = 2\,039,1 \text{ m}^3/h$$

$$\text{Velocidade frontal máx.} = 3,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatura exterior de projeto} = 37,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Relação mistura (ar recirc./ar insuflação)} = 0\%$$

- Filtro sintético G4

- Ventilador Plug Fan

$$\text{Pressão estática} = 200 \text{ Pa}$$

$$\text{RPM margin} = 5\%$$

Sendo o aspeto da unidade dado pelo *software* idêntico ao da Figura 14, a  $\dot{W}_{Extr.}$  é igual a:

$$\dot{W}_{Extr.} = 0,6 \text{ kW}$$

Da equação 3.29, para a  $\dot{W}_{Vent.}$ , temos:

$$\dot{W}_{Vent.} = 0,64 + 0,6 = 1,24 \text{ kW}$$

Logo, a  $\dot{W}_{EL.}$ , dada pela equação 3.26 é igual a:

$$\dot{W}_{EL.} = 7,24 + 1,24 = 8,48 \text{ kW}$$

## Capítulo 5

### Fermentação Alcoólica em 12 dias

Para o cálculo das necessidades de ventilação e de refrigeração na produção de vinho tinto num total de 20 000 l de mosto e com fermentação alcoólica durante 12 dias, utilizou-se a mesma metodologia de cálculo empregue nos dois anteriores capítulos (3 e 4).

A seguinte tabela apresenta valores tipo referentes à evolução de uma fermentação de mosto de vinho tinto, ao longo dos 12 dias para um total de 10 000 l de mosto.

Tabela 8: Dados da fermentação alcoólica em 12 dias.

Dia	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Energia (kcal)	21 000	42 000	58 800	<b>67 200</b>	56 700	50 400	42 000	33 600	27 300	23 100	21 000	18 900
Energia (MJ)	87,9	175,9	246,2	<b>281,4</b>	237,4	211,0	175,9	140,7	114,3	96,7	87,9	79,1
° GL	0,636	1,273	1,782	<b>2,036</b>	1,718	1,527	1,273	1,018	0,827	0,700	0,636	0,573
° GL Acumulado	0,636	1,909	3,691	5,727	7,445	8,973	10,245	11,264	12,091	12,791	13,427	14,000
CO <sub>2</sub>	56,0	112,0	156,8	<b>179,2</b>	151,2	134,4	112,0	89,6	72,8	61,6	56,0	50,4
CO <sub>2</sub> Acumulado	56,0	168,0	324,8	504,0	655,2	789,6	901,6	991,2	1064,0	1125,6	1181,6	1232,0
(° GL/14) x 100%	4,6%	9,1%	12,7%	<b>14,6%</b>	12,3%	10,9%	9,1%	7,3%	5,9%	5,0%	4,6%	4,1%

O gráfico apresentado em baixo caracteriza a evolução do grau alcoólico na produção do vinho tinto ao longo dos 12 dias de fermentação. Consegue-se verificar que no final da fermentação se atinge o teor alcoólico de 14° GL.

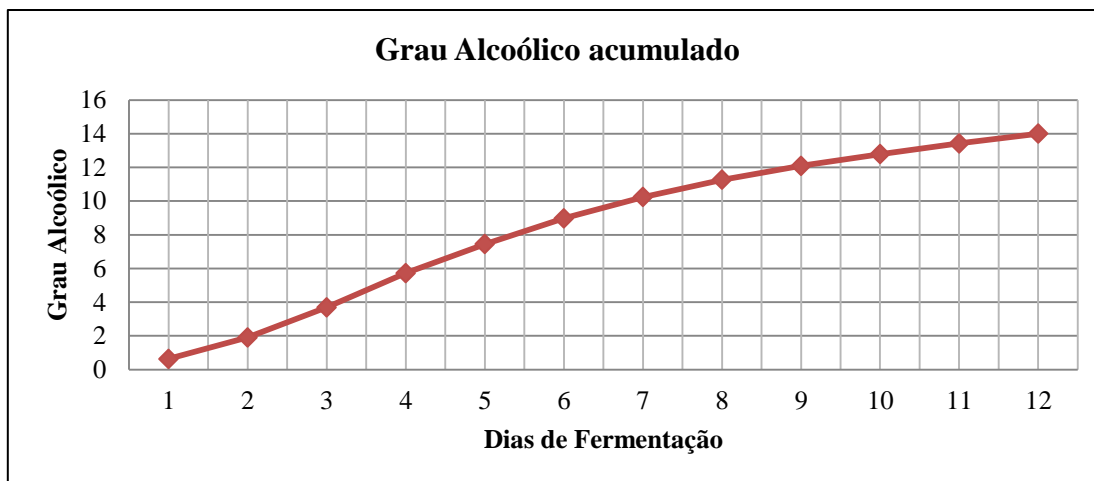


Gráfico 3: Evolução do teor alcoólico ao longo dos 12 dias de fermentação.

Com base nos dados da fermentação alcoólica em 12 dias, indicados na Tabela 8, consegue-se nomear o 4º dia de fermentação como dia de pico. É neste dia que o pico de produção de calor na fermentação alcoólica é atingido e que corresponde a um ganho no teor alcoólico de 2,036° GL.

## 5.1. Perdas na Zona de Lagares (Dia de Pico de Fermentação)

### 5.1.1. Dissipação de calor (por kg de mosto)

$$2,036^{\circ} GL \times 3,3 kcal/^{\circ} GL = 6,719 kcal$$

$$= 28,131 kJ$$

### 5.1.2. Libertação de CO<sub>2</sub> (por kg de mosto)

$$2,036^{\circ} GL \times 8,8 g de CO_2/^{\circ} GL = 17,917 g de CO_2$$

Para os 20 000 kg de Sumo de Fermentação obtém-se:

### 5.1.3. Dissipação de calor (por 20 000 kg de Sumo de Fermentação)

$$20\ 000 kg \times 6,719 kcal/kg = 134\ 380,0 kcal$$

$$= 562\ 622,176 kJ$$

### 5.1.4. Libertação de CO<sub>2</sub> (por 20 000 kg de Sumo de Fermentação)

$$20\ 000 kg \times 17,917 g de CO_2/kg = 358\ 340,0 g de CO_2$$

$$= 358,340 kg de CO_2$$

Assumindo que a fermentação alcoólica é constante durante as 24 horas do dia de pico, obtém-se:

#### **5.1.5. Dissipação de calor (por hora em dia de Pico)**

$$\begin{aligned} 134\,380,0 \text{ kcal} \div 24 \text{ h} &= 5\,599,2 \text{ kcal/h} \\ &= 1\,555,3 \text{ cal/s} \\ &\cong 6,5 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### **5.1.6. Libertação de CO<sub>2</sub> (por hora em dia de Pico)**

$$358,340 \text{ kg de CO}_2 \div 24 \text{ h} = 14,931 \text{ kg de CO}_2/\text{h}$$

### **5.2. Determinação das Necessidades de Ventilação para a Zona de Lagares**

Em conformidade ao que foi demonstrado no capítulo anterior, alusivo à fermentação alcoólica em 8 dias, para uma fermentação alcoólica em 12 dias é também expectável uma diminuição das necessidades de ventilação, em comparação com as necessidades exigidas na fermentação alcoólica em 5 e 8 dias.

A metodologia adotada para o cálculo das necessidades de ventilação para uma fermentação alcoólica em 12 dias é a mesma ostentada no Subcapítulo 3.2, referente à fermentação alcoólica em 5 dias.

#### **5.2.1. Massa de ar seco**

Como a massa de ar seco é conseguida através das condições interiores da zona de lagares e dado que não depende da duração da fermentação, o valor desta é igual ao demonstrado no ponto 3.2.1:

$$m_{adega} = 248,5 \text{ kg ar seco}$$

#### **5.2.2. Concentração de CO<sub>2</sub>**

O processo de cálculo para obtenção da concentração de CO<sub>2</sub> presente na zona de lagares para uma fermentação alcoólica em 12 dias é a mesma apresentada no ponto 3.2.2.

Dado que a concentração de CO<sub>2</sub> presente na zona de lagares resulta do ar exterior e da sua produção durante a fermentação alcoólica, relativamente ao CO<sub>2</sub> que provém do ar exterior, este não deriva da duração da fermentação, assim sendo o valor deste é igual a:

$$m_{CO_2} = 0,124 \text{ kg de } CO_2$$

Adicionando a este valor os kg de CO<sub>2</sub> libertados durante a fermentação, por hora e em dia de pico, obtém-se o total de CO<sub>2</sub>:

$$\text{Total de } CO_2 = 0,124 + 14,931 = 15,055 \text{ kg de } CO_2/h$$

A concentração total de CO<sub>2</sub> na zona de lagares é então:

$$1.000\ 000 \text{ kg ar} \rightarrow n^\circ \text{ ppm}$$

$$m_{adega} \rightarrow 15,055 \text{ kg de } CO_2/h$$

$$n^\circ \text{ ppm} = \frac{1.000\ 000 \times 15,055}{m_{adega}} = \frac{1.000\ 000 \times 15,055}{248,5} = 60\ 583,5 \text{ ppm}$$

### 5.2.3. Renovações de ar

Como as renovações de ar necessárias devem garantir condições ambientais de segurança e higiene para a zona de lagares, é então fundamental afiançar que as concentrações de CO<sub>2</sub> não excedam certos valores. Tomou-se o mesmo valor de 10 000 ppm, visível no Anexo B, como limite de concentração máximo admissível.

O número de renovações para que a concentração total de CO<sub>2</sub> não ultrapasse a concentração de 10 000 ppm é determinado segundo a metodologia de cálculo presente no ponto 3.2.3:

$$\dot{m}_{ar} = \frac{n^\circ \text{ ppm} \times m_{adega}}{10\ 000} = \frac{60\ 583,5 \times 248,5}{10\ 000} = 1\ 505,5 \text{ kg/h}$$

Sendo o  $v_{int.} = 0,8692 \text{ m}^3/\text{kg}$  ar seco e de acordo com a equação 3.5, o caudal de ventilação requerido é de:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= 1\ 505,5 \times 0,8692 = 1\ 308,6 \text{ m}^3/h \\ &= 363,5 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Como o caudal de ventilação pode ser relacionado com o número de renovações segundo a equação 3.6, o número de renovações necessárias para a zona de lagares, para que a concentração total de CO<sub>2</sub> não ultrapasse a concentração máxima admissível é:

$$R_{ph} = \frac{\dot{V}}{V_{adega}} = \frac{1\,308,6}{72 \times 3} = \mathbf{6,1\ renov./h}$$

São então necessárias cerca de 7 renovações por hora, em dia de pico, para uma fermentação alcoólica de 12 dias.

### **5.3. Determinação da Capacidade Frigorífica para a Zona de Lagares**

O ar contido na zona de lagares está sujeito à ação de cargas térmicas. Esta potência, aqui determinada, é caracterizada por representar as cargas térmicas a remover da zona de lagares e o controlo da fermentação dos respetivos lagares.

Ao confrontar as capacidades frigoríficas determinadas no Subcapítulo 3.3 e 4.3, é expectável que a capacidade a obter para uma fermentação alcoólica durante 12 dias seja menor. Isto acontece porque, na mesma medida do que foi redigido no Subcapítulo 4.3, numa fermentação alcoólica em 12 dias as necessidades de ventilação são menores e existe uma diminuição da dissipação de calor devido à fermentação alcoólica.

A dissipação de calor devido à fermentação alcoólica foi determinada no ponto 5.1.5:

$$\dot{Q}_{Ferm.} \cong 6,5\ kW$$

O processo de cálculo da capacidade para uma fermentação alcoólica em 12 dias é semelhante ao demonstrado no Subcapítulo 3.3.

#### **5.3.1. Definição das Condições Exteriores**

Segundo o que foi referido no ponto 3.3.1, a localização da adega, a título exemplar, situa-se em Santarém. Para este local e para o mês de setembro as condições exteriores são:

$$T_{ext.} = 37,4\ ^\circ C$$

$$\varphi_{ext.} = 27\%$$

Através da Carta Psicrométrica do Anexo E podem-se visualizar as propriedades do ar exterior (ponto  $e_{ext.}$ ).

### 5.3.2. Estimativa das Cargas Térmicas

Com base no que foi mencionado no ponto 3.3.2, as cargas térmicas a estimar são:

- Cargas térmicas devidas ao Ar Novo

- Calor sensível ar novo

Tendo em conta a equação 3.8 tem-se:

$$\dot{Q}_{SAN} = 363,5 \times 1,23 \times (37,4 - 28) = 4\,202,8\,W$$

- Calor latente ar novo

Tendo em conta a equação 3.9 tem-se:

$$\dot{Q}_{LAN} = 363,5 \times 3 \times (10,8 - 11,8) = -1\,090,5\,W$$

As cargas térmicas totais devidas ao ar novo são então:

$$\dot{Q}_{tAN} = \dot{Q}_{SAN} + \dot{Q}_{LAN} = 4\,202,8 + (-1\,090,5) = 3\,112,3\,W$$

- Ganhos de Calor do Local

Ao admitir-se que, independentemente da duração da fermentação, as cargas térmicas a estimar para o interior da sala de lagares, na situação de pico da fermentação, referentes à ação das pessoas, à iluminação e envolvente não se alteram e visto que não se consideram as cargas térmicas devidas a equipamentos, os ganhos de calor referentes ao interior da zona de lagares são:

- Ganhos de Calor Sensível do Local

$$\dot{Q}_{SL} = 1\,574,7\,W$$

- Ganhos de Calor Latente do Local

$$\dot{Q}_{IL} = 516,6\,W$$

Somando ambas as parcelas tem-se:

$$\dot{Q}_{tL} = \dot{Q}_{sL} + \dot{Q}_{lL} = 1\,574,7 + 516,6 = 2\,091,3\, W$$

### 5.3.3. Capacidade Total da Bateria de Arrefecimento

De modo similar aos pontos 3.3.3 e 4.3.3, pretende-se aqui calcular a capacidade total da BAF para a situação a tratar referente aos 12 dias de fermentação, com base na constituição da unidade representada na Figura 11.

Como o  $f_{csel}$  é dado pela equação 3.14, tendo em conta os valores estimados para as cargas térmicas, o  $f_{csel}$  é igual a:

$$f_{csel} = \frac{1\,574,7 + 4\,202,8 \times 0,10}{2\,091,3 + 3\,112,3 \times 0,10} = 0,83$$

Da Carta Psicrométrica, Anexo J, traçando a reta de  $f_{csel}$  com a inclinação de 0,83 passando pelas condições interiores definidas para a sala de lagares, a  $T_{adp}$  é igual a:

$$T_{adp} \cong 15,1\, ^\circ C$$

No Anexo J, é possível visualizar que a  $T_{adp}$  tem um valor inferior ao ponto de orvalho do ar que entra na bateria. Ao contrário dos casos anteriores, referentes aos 5 e 8 dias de fermentação, nesta situação, o ar não só arrefece como também parte do vapor contido nas partículas deste, que entram em contacto com as alhetas, condensa provocando diminuição da humidade específica. Ocorre assim o processo de arrefecimento com desumidificação que caracteriza a bateria como húmida.

A posição do ponto de saída da BAF é calculada a partir da equação 3.16, desta a temperatura do ar à saída é:

$$T_B = (37,4 - 15,1) \times 0,10 + 15,1 = 17,3\, ^\circ C$$

As condições de insuflação do ar no interior da sala de lagares são dadas através dos ganhos de calor do local. Da equação 3.18 e 3.20, a temperatura e humidade de insuflação do ar são respetivamente:

$$T_I = 28 - \frac{1\,574,7}{1,23 \times 363,5} = 24,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\omega_I = 11,8 - \frac{516,6}{3 \times 363,5} = 11,3 \text{ g/kg ar seco}$$

O ar de insuflação na sala de lagares (ponto *I*) encontra-se sobre a reta definida pelos pontos *B* e *ext.* (Anexo J).

O ar insuflado no interior da sala de lagares contraria corretamente o efeito das cargas sensíveis do local. No entanto o mesmo não acontece em relação às cargas latentes. Pode-se comprovar no Anexo J e com base no *f<sub>csl</sub>*, que não depende da duração da fermentação, igual a:

$$f_{csl} = 0,75$$

Que o estado final do ar na sala de lagares em termos de humidade não é o pretendido mas um pouco inferior. Porém, e como fora explicado para as situações de 5 e 8 dias de fermentação, as condições interiores reais mantêm-se dentro de valores desejados.

Sendo o processo de evolução do ar na CM provocado pelo *bypass* artificial, pelo princípio da conservação da massa e pelo balanço energético da mistura de caudais, o caudal que não passa na bateria é dado pela equação 3.24. Tendo sido o  $\dot{m}_{ar}$  calculado no ponto 5.2.3:

$$\dot{m}_{ar} = 1\,505,5 \text{ kg/h} = 0,418 \text{ kg/s}$$

O  $\dot{m}_A$  fica:

$$\dot{m}_A = 0,418 \cdot \frac{24,5 - 17,3}{37,4 - 17,3} = 0,150 \text{ kg/s}$$

A Carta Psicrométrica, presente no Anexo J, expõe a evolução do ar desde o exterior até ao interior da sala de lagares. Assim sendo, a capacidade total da BAF, que conduz o ar desde as condições exteriores até às condições do ponto *B*, dada pela equação 3.25, é de:

$$\dot{m}_B = \dot{m}_{ar} - \dot{m}_A = 0,418 - 0,150 = 0,268 \text{ kg/s}$$

$$h_{ext.} \cong 65,75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_B \cong 44,6 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{BAF} = 0,268 \times (65,75 - 44,6) \cong 5,7 \text{ kW}$$

Sendo a Figura 11 representativa da constituição da unidade de insuflação do sistema de climatização preconizado para a sala de lagares, independente da duração de fermentação, o significado dos pontos e linhas representados no Anexo J são os mesmos dos do Anexo F estipulados no ponto 3.3.3.

Por último e de acordo com o pretendido com o Subcapítulo 5.3, tendo por base a equação 3.7, a capacidade frigorífica para a zona de lagares é:

$$\dot{Q}_F = 6,5 + 5,7 = 12,2 \text{ kW}$$

#### **5.4. Determinação da Potência Elétrica para a Zona de Lagares**

Ao comparar-se a potência aqui a determinar com as obtidas nas fermentações em 5 e 8 dias, é crível que esta seja inferior. Isto porque, e como foi referido no Subcapítulo 4.4, as necessidades de ventilação são menores e o mesmo acontece com a capacidade frigorífica.

A metodologia para determinar esta potência é semelhante à do Subcapítulo 3.4 referente à fermentação alcoólica em 5 dias.

##### **5.4.1. Potência Chiller**

De forma análoga aos pontos 3.4.1 e 4.4.1, pretende-se aqui determinar a potência elétrica necessária ao funcionamento do chiller para o estudo referente aos 12 dias de fermentação.

Como se sabe, a eficácia do chiller dependente da EER, a partir desta e dado que a  $\dot{Q}_F$  foi determinada no ponto 5.3.3:

$$\dot{Q}_F = 12,2 \text{ kW}$$

A partir da equação 3.28 a  $\dot{W}_F$  é igual a:

$$\dot{W}_F = \frac{12,2}{2,5} = 4,88 \text{ kW}$$

#### 5.4.2. Estimativa Potência de Ventilação

Similarmente aos pontos 3.4.2 e 4.4.2, pretende-se aqui estimar a potência indispensável à ventilação para a situação de pico, de modo a garantir as condições ambientais de segurança e higiene na zona de lagares.

Para determinar as potências de ventilação de insuflação e de extração utilizou-se o programa WinClim II.

- Unidade de Insuflação

Considerando os passos realizados no *software* para determinação da  $\dot{W}_{Ins.}$  na situação duma duração de 5 dias de fermentação exibidos no Anexo G, neste caso, para uma duração de 12 dias de fermentação o procedimento é o mesmo, a única diferença está nos valores de alguns dados de entrada:

- Caudais de ar

Caudal de ar insuflação =  $1\,308,6 \text{ m}^3/h$

Velocidade frontal máx. =  $2,7 \text{ m/s}$

Temperatura exterior de projeto =  $37,4 \text{ }^\circ\text{C}$

Relação mistura (ar recirc./ar insuflação) = 0%

- Filtro sintético G4

- Bateria de arrefecimento (6 fiadas  $\rightarrow$  8 circuitos)

Entrada de ar =  $37,4 \text{ }^\circ\text{C}$  e humidade = 27%

Saída de ar =  $17,3 \text{ }^\circ\text{C}$

Entrada do fluido =  $7 \text{ }^\circ\text{C}$

Dt fluido = 5 K

0% de Glicol

Material da bateria: Cu/Al

- Ventilador Plug Fan

Pressão estática = 300 Pa

RPM margin = 5%

Dada a constituição da unidade atribuída pelo *software* semelhante à da Figura 13, a  $\dot{W}_{Ins.}$  é igual a:

$$\dot{W}_{Ins.} = 0,55 \text{ kW}$$

- Unidade de Extração

De acordo com o procedimento realizado no *software* para determinação da  $\dot{W}_{Extr.}$  no caso da duração de 5 dias de fermentação exposto no Anexo H, nesta situação a tratar, para uma duração de 12 dias de fermentação o método é o mesmo, sendo a única distinção os valores de alguns dados de entrada:

- Caudais de ar

$$\text{Caudal de ar retorno} = 1\,308,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Velocidade frontal máx.} = 3,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Temperatura exterior de projeto} = 37,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Relação mistura (ar recirc./ar insuflação)} = 0\%$$

- Filtro sintético G4

- Ventilador Plug Fan

$$\text{Pressão estática} = 200 \text{ Pa}$$

$$\text{RPM margin} = 5\%$$

Dada a constituição da unidade atribuída pelo *software* semelhante à da Figura 14, a  $\dot{W}_{Extr.}$  é igual a:

$$\dot{W}_{Extr.} = 0,55 \text{ kW}$$

Tendo por base a equação 3.29, a  $\dot{W}_{Vent.}$  é igual a:

$$\dot{W}_{Vent.} = 0,55 + 0,55 = 1,1 \text{ kW}$$

Por último, a  $\dot{W}_{EL.}$  através da equação 3.26 é igual a:

$$\dot{W}_{EL.} = 4,88 + 1,1 = 5,98 \text{ kW}$$



## Capítulo 6

### Análise de Resultados

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com base nas escolhas dos parâmetros e estratégias de cálculo adotadas em fermentações de 5, 8 e 12 dias, tendo em conta a concentração de CO<sub>2</sub> e as necessidades energéticas numa sala de lagares, para uma produção de vinho tinto num total de 20 000 l de mosto.

A dissipação de calor e libertação de CO<sub>2</sub> em fermentações de 5, 8 e 12 dias são apresentadas na tabela seguinte. Estes valores resultam da metodologia dos Subcapítulos 3.1, 4.1 e 5.1, cujos cálculos se baseiam nos valores de energia, teor alcoólico e CO<sub>2</sub> produzidos. Os resultados da dissipação de calor e libertação de CO<sub>2</sub> estão naturalmente associados ao dia de pico, visto que é sobre este que se deve recair, dado ser o dia com maiores necessidades de refrigeração e ventilação.

Tabela 9: Perdas na zona de Lagares.

<b>Duração da Fermentação</b>	<b>Dissipação de calor (kW)</b>	<b>Libertação de CO<sub>2</sub> (kg de CO<sub>2</sub>)</b>
<b>5 Dias</b>	13,2	30,331
<b>8 Dias</b>	10,2	23,335
<b>12 Dias</b>	6,5	14,931

No primeiro caso (5 dias de fermentação) observa-se que a dissipação de calor e libertação de CO<sub>2</sub> são maiores em comparação com os restantes casos, isto acontece porque se verifica uma diminuição do grau alcoólico no dia de pico e consequentemente uma menor produção de calor e de CO<sub>2</sub>. Esta diminuição é cerca de metade ( $\approx 50,8\%$ ),

quando se comparam os casos dos 5 e 12 dias de fermentação, tanto em relação à dissipação de calor como à libertação de CO<sub>2</sub>.

Em relação aos caudais de ventilação estes são resultado da metodologia apresentada no Subcapítulo 3.2, também implementada nos casos de 8 e 12 dias de fermentação. Nestes procedeu-se à determinação da ventilação necessária, para que a produção de CO<sub>2</sub> não apresentasse concentrações acima das aceitáveis.

Os valores dos caudais mínimos de ar novo necessários, de forma a garantir uma atmosfera adequada, são então os apresentados na tabela seguinte:

Tabela 10: Necessidades de ventilação para a zona de lagares.

<b>Duração da Fermentação</b>	<b>Caudal mássico de ar (kg/h)</b>
<b>5 Dias</b>	3045,5
<b>8 Dias</b>	2345,9
<b>12 Dias</b>	1505,5

Com base nos valores da tabela acima consegue-se verificar que quanto maior é a duração da fermentação menor são as necessidades de ventilação para a zona de lagares. Esta situação já era presumível porque a libertação de CO<sub>2</sub> também fora menor consoante maior a duração da fermentação (Tabela 9).

Através da Tabela 10, consegue-se construir o gráfico seguinte. Neste consegue-se apurar o que foi dito em cima.

O caudal relativo aos 5 dias de fermentação apresentou o maior valor entre as restantes durações de fermentação, sendo o período de pico de 3045,5 kg/h. Ao comparar-se novamente os casos das fermentações em 5 e 12 dias verifica-se novamente uma diminuição em cerca de metade ( $\approx 50,6\%$ ) do caudal mássico de ar.

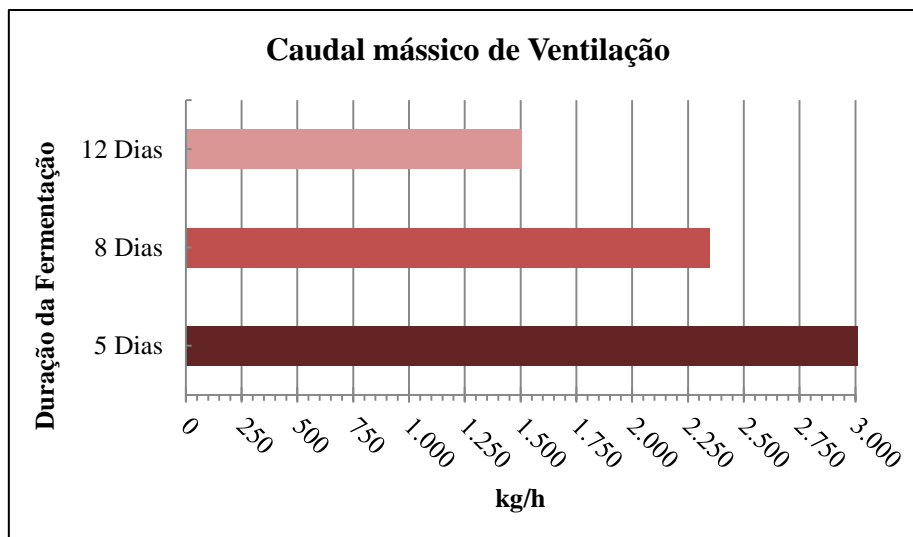


Gráfico 4: Caudal mássico de ar de ventilação para a sala de lagares em função da duração da fermentação.

Os caudais de ventilação exibidos encontram-se na unidade de massa (caudal mássico) em detrimento da apresentação na unidade de volume (caudal volúmico). Esta decisão prende-se pelo simples facto de, em termos de massa, os caudais não variarem de local para local, conforme a localização para o projeto de uma adega. No entanto, o erro associado aos caudais volúmicos de ventilação é mínimo visto não existir uma grande variação do volume específico de região para região dado o mês em questão.

Assim, de acordo com as condições interiores, foi possível calcular o caudal de ventilação requerido, em  $m^3/h$ , e subsequente o número de renovações. Deste modo, de forma análoga à tabela seguinte:

Tabela 11: Números de renovações horárias em locais industriais [37].

Natureza do Local	renov./h	Natureza do Local	renov./h
Armazéns	3 - 6	Naves desportivas	4 - 8
Ambientes nocivos	30 - 60	Oficinas (em geral)	8 - 10
Cozinhas industriais	15 - 25	Oficinas de mecânica	5 - 10
Depósito de mercadorias	3 - 6	Oficinas de soldadura	15 - 30
Fundição	20 - 30	Parques de estacionamento	6 - 8
Lavandaria industrial	15 - 30	Sala de caldeiras	20 - 30
Local de baterias	15 - 30	Sala de máquinas	20 - 30
Matadouros	6 - 10	Tinturarias	10 - 15

Que apresenta valores de renovação horária para diversos locais industriais, foi possível concluir com este estudo, que para uma sala de lagares, de uma forma genérica, deve-se garantir que o número de renovações necessárias para que a concentração total

de CO<sub>2</sub> na situação mais exigente não transponha a concentração máxima admissível, deva estar necessariamente entre os seguintes valores:

Tabela 12: Número de renovações horárias numa sala de lagares.

<b>Natureza do Local</b>	<b>renov./h</b>
<b>Sala de lagares</b>	<b>10 - 13</b>

De seguida, são apresentados os resultados relativos às necessidades energéticas. Estas dependem impreterivelmente da localização da adega.

### **6.1. Caso de Estudo em Santarém**

O caudal de ar novo para a zona de lagares, correspondente a cada duração da fermentação, é essencial no cálculo das necessidades energéticas para o condicionamento do ar nas condições de segurança e higiene interiores.

Estas necessidades, resultantes dos processos de cálculo dos Subcapítulos 3.3, 4.3, 5.3 e Subcapítulos 3.4, 4.4 e 5.4 podem ser observadas, respetivamente, na seguinte tabela:

Tabela 13: Necessidades energéticas mínimas para a sala de lagares.

<b>Duração da Fermentação</b>	<b>Cap. Frigorífica (kW)</b>	<b>Pot. Elétrica (kW)</b>
<b>5 Dias</b>	23,0	11,05
<b>8 Dias</b>	18,1	8,48
<b>12 Dias</b>	12,2	5,98

É assim possível, através dos valores da Tabela 13, construir os seguintes gráficos que representam, respetivamente, as capacidades frigoríficas e as potências elétricas necessárias para a sala de lagares em função da duração da fermentação.

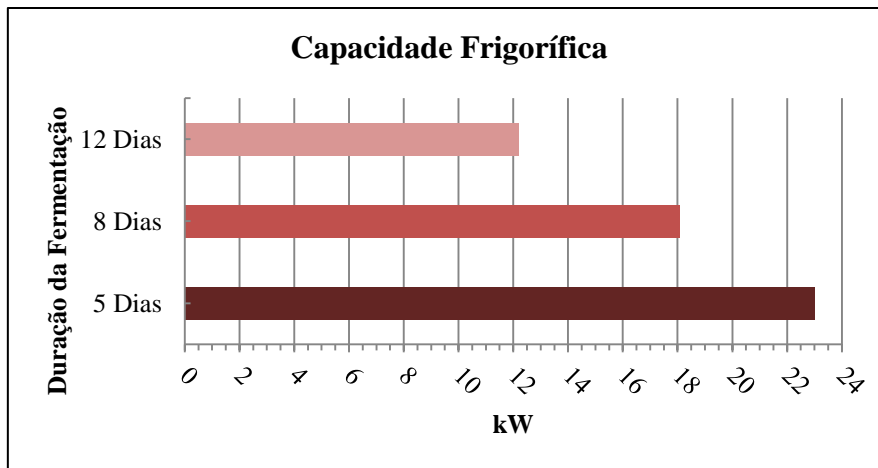


Gráfico 5: Capacidade frigorífica para a sala de lagares em função da duração da fermentação.

Como é expectável, a situação mais desfavorável, pico referente à fermentação alcoólica durante 5 dias, é a que acarreta maiores necessidades a nível de arrefecimento, sendo a capacidade mínima a garantir por parte do chiller, de modo a garantir as condições estacionárias no interior da sala de lagares e o controlo da fermentação, na ordem dos 23 kW.

Ao confrontar-se os casos das durações da fermentação de 5 e 12 dias, verifica-se que existe uma diferença de 10,8 kW na capacidade mínima do chiller que corresponde a uma diminuição de quase metade na capacidade.

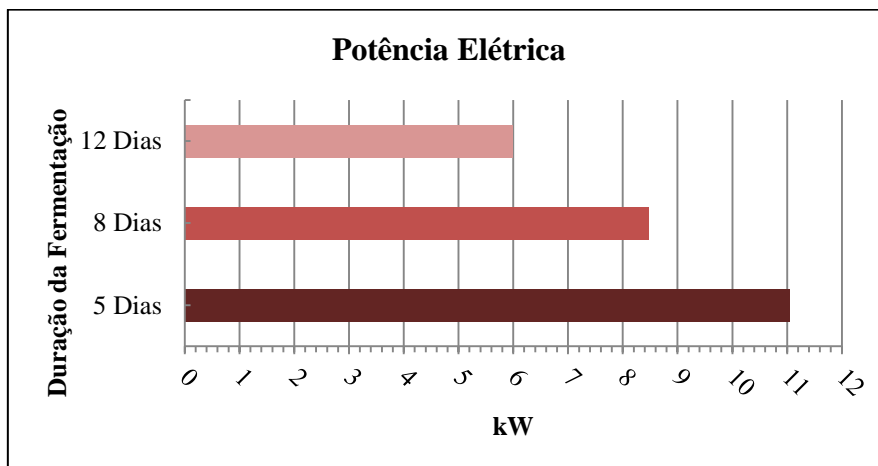


Gráfico 6: Potência elétrica para a sala de lagares em função da duração da fermentação.

Na mesma medida que a capacidade frigorífica, como é intuitivo, a potência elétrica necessária é superior na situação de pico da fermentação alcoólica de 5 dias, sendo igual a 11,05 kW.

Ao relacionar-se as potências elétricas necessárias correspondentes às durações da fermentação de 5 e 12 dias afere-se uma diminuição para quase metade na potência mínima elétrica a garantir.

Como já foi enunciado, esta potência caracteriza de certa forma o consumo energético, na situação mais exigente, do sistema de climatização para a sala de lagares, dado ser constituída pela potência elétrica absorvida pelo chiller e pela potência elétrica associada à ventilação. Ao relacionar-se as capacidades frigoríficas com as potências elétricas observa-se que as capacidades de arrefecimento, conforme a duração da fermentação, são aproximadamente cerca de 2 a 2,2 vezes maiores que as potências elétricas. Assim sendo, verifica-se que o consumo energético é maioritariamente associado à energia elétrica consumida pelo chiller, dado que se considerou uma eficácia para o GPAF igual a 2,5.

A diminuição apurada na capacidade frigorífica e na potência elétrica quando se relacionaram os casos das fermentações em 5 e 12 dias, pode significar após consulta de mercado dos GPAF, não só uma máquina com menor capacidade mas também de menores dimensões.

## **6.2. Casos de Estudo em certos locais de Portugal Continental**

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados para determinados locais de Portugal resultantes do estudo das condições que cada região pode influenciar nos valores das necessidades energéticas.

Para a obtenção dos seguintes resultados e concretização dos objetivos foi proposto o caso de estudo da localização da adega em Santarém como título exemplar para os restantes locais de Portugal Continental e utilizado um ficheiro criado através da ferramenta Microsoft Office Excel para facilitar os cálculos e diminuir os erros associados, como por exemplo, os de arredondamentos.

As condições exteriores representam extrema importância em virtude do papel que desempenham no estabelecimento das perdas e ganhos térmicos. Isto significa por tudo o que foi aqui enunciado, que o que foi feito para o caso de estudo em Santarém serve de metodologia de cálculo para as seguintes localizações definidas:

Tabela 14: Condições exteriores definidas para os diversos locais.

<b>Locais</b>	<b>Condições Exteriores</b>	
	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humidade relativa (%)</b>
<b>Beja</b>	37,0	24,7
<b>Braga</b>	34,3	33,7
<b>Castelo Branco</b>	36,3	23,9
<b>Évora</b>	35,7	24,7
<b>Portalegre</b>	35,3	25,0
<b>Portimão</b>	31,6	42,6
<b>Setúbal</b>	35,4	29,7

Para a situação mais rigorosa, após os cálculos efetuados, os resultados das necessidades energéticas para cada um dos locais são:

Tabela 15: Necessidades energéticas mínimas para a sala de lagares conforme a localização.

<b>Locais</b>	<b>5 Dias de Fermentação</b>	
	<b>Cap. Frigorífica (kW)</b>	<b>Pot. Elétrica (kW)</b>
<b>Beja</b>	22,62	10,90
<b>Braga</b>	20,81	10,17
<b>Castelo Branco</b>	21,86	10,59
<b>Évora</b>	21,37	10,40
<b>Portalegre</b>	20,96	10,23
<b>Portimão</b>	19,37	9,60
<b>Setúbal</b>	21,13	10,30

Estes resultados, inclusive os do subcapítulo anterior para a situação da localização da adega em Santarém, permitem assim construir os seguintes gráficos que representam, respetivamente, a capacidade frigorífica e a potência elétrica a garantir para a sala de lagares em função da sua localização.

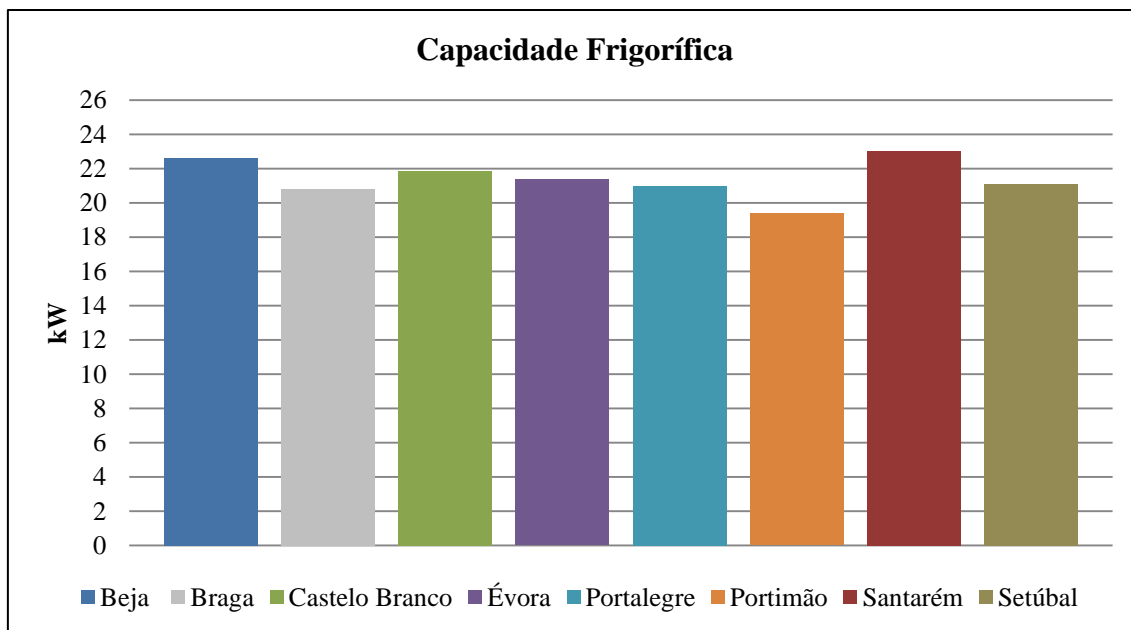


Gráfico 7: Capacidade frigorífica para uma sala de lagares em função da localização.

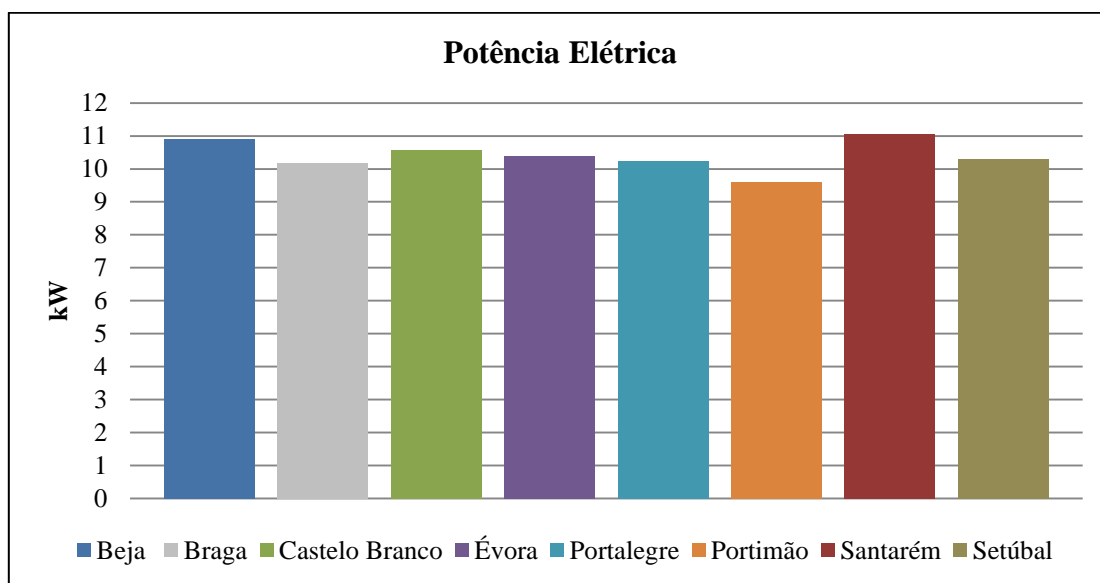


Gráfico 8: Potência elétrica para uma sala de lagares em função da localização.

Verifica-se através dos gráficos que não existe uma grande discrepância entre as necessidades energéticas de local para local. No entanto, é possível visualizar que as necessidades energéticas determinadas são coerentes com o clima. Estas são maiores em Santarém ( $\dot{Q}_F = 23 \text{ kW}$  e  $\dot{W}_{EL} = 11,05 \text{ kW}$ ) e Beja ( $\dot{Q}_F = 22,62 \text{ kW}$  e  $\dot{W}_{EL} = 10,90 \text{ kW}$ ), e menores em Portimão ( $\dot{Q}_F = 19,37 \text{ kW}$  e  $\dot{W}_{EL} = 9,60 \text{ kW}$ ).

Contudo, as necessidades energéticas calculadas são apenas um indicador de referência. Para uma maior aproximação, mantendo-se as mesmas condições interiores,

é necessário um estudo específico de projeto. Parâmetros como os trabalhadores, equipamentos, etc., responsáveis pela libertação de calor no ambiente da zona de lagares e que foram adotados como comuns para os diversos casos de estudo, podem provocar uma variação das necessidades. Porém esse aumento ou diminuição não têm grande relevância, isto porque é raro se suceder uma fermentação alcoólica em 5 dias, sendo este o limite para uma fermentação completa, e dado que o que importa essencialmente ter em atenção são as trocas de massa de ar entre o interior e o exterior da sala de lagares e a dissipação de calor proveniente da fermentação alcoólica.

No Anexo K, estão presentes as Cartas Psicrométricas de cada um dos locais definidos na Tabela 14, para a situação mais exigente, sendo possível visualizar nestas as evoluções do ar desde o exterior até à zona de lagares.

Deposto isto, os resultados apresentados neste capítulo, permitem circunscrever o dimensionamento de um sistema de climatização para condições semelhantes às deste estudo, ou aplicando uma relação caso se mantenha de acordo com as necessidades da unidade produtora de vinho.

Finalizando, o Anexo L tem o objetivo de representar esquematicamente a estratégia de ventilação e climatização, neste trabalho preconizada, para atenuar os problemas da concentração de CO<sub>2</sub> e garantir o controlo da fermentação do mosto numa sala de lagares. De referir que os valores apresentados neste dizem respeito à situação mais desfavorável no caso da localização da adega em Santarém.

Na prática, o sistema deve estar preparado para atender às variações dos caudais exigidos. Deste modo, é essencial a presença de alguns controladores que permitam uma ventilação e um arrefecimento mais eficientes energeticamente. No esquema do Anexo L, alguns destes podem ser visíveis. Por exemplo, e como já fora referido, a existência da sonda de CO<sub>2</sub> no interior da sala de lagares possibilita controlar o caudal consoante as exigências de ventilação.

Para além da utilização de ventiladores de velocidade variável, é importante referir, como medida de eficiência energética, que o controlo do caudal de AN pode também ser efetuado através do controlo da temperatura exterior de modo a possibilitar o arrefecimento gratuito, dispensando o uso da BAF caso a temperatura do ar exterior seja suficientemente baixa.



## Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros

A sinistralidade laboral verificada nas atividades desenvolvidas em adegas, traduzida em acidentes de trabalho e doenças profissionais, é, ainda hoje, motivo de preocupação. As diversas tarefas efetuadas durante a produção do vinho, desde a receção da uva até à expedição do vinho, são fontes de muitos perigos, reunindo riscos de diferente natureza, ao longo de todo o decurso de transformação.

Nas adegas, verificam-se algumas falhas ao nível da segurança, higiene e saúde no trabalho. A inadequação das instalações a este nível, a utilização de equipamentos e processos ultrapassados, o elevado número de trabalhadores eventuais nos períodos de maiores picos de faina, são alguns dos exemplos que estão na origem dessas lacunas.

Torna-se essencial que sejam reforçados os mecanismos para o desenvolvimento e implementação de uma cultura de segurança nas adegas. Garantir a qualidade do ar interior em termos de concentração de gases, poeiras e de microrganismos, usar materiais que não coloquem em risco a saúde dos ocupantes, assegurar a segurança das instalações, são questões que, fixadas ou não por regulamentação, devem estar sempre em causa. O estudo de riscos e a sua precaução é assim uma condição necessária para a diminuição dos acidentes de trabalho e doenças profissionais.

Foram assim objetivos principais deste trabalho final de mestrado, avaliar o risco de exposição ao CO<sub>2</sub>, associado ao trabalho em adegas, designadamente à produção de vinho tinto no processo de fermentação alcoólica, bem como, o estudo da energia necessária para manter as condições de conforto definidas, dada a renovação do ar interior, e de controlo da fermentação numa sala de lagares. Possibilitando assim, boas práticas na obtenção de vinhos de qualidade e a prevenção de riscos pela adoção de medidas de ordem técnica e de higiene e segurança.

O que foi apresentado nos Capítulos 3, 4 e 5 para além de demonstrar os cálculos referentes às durações de 5, 8 e 12 dias de fermentação para o caso de estudo em Santarém permitiu ainda construir um plano racional de trabalho, sequencial quanto possível, que estimule e possibilite ao produtor de vinho, responsáveis pelo projeto de adegas, etc., ter uma visão global de todos os processos energéticos envolvidos, facilitando escolhas mais conscientes e responsáveis sem contudo cercear o processo criativo.

Quanto aos resultados obtidos com o estudo aqui realizado, estes podem servir de referência para a operação de sistemas de climatização de adegas existentes, como também, auxiliar o dimensionamento da climatização de novas, tendo sempre como princípio, na ventilação e na qualidade do ar interior, o CO<sub>2</sub>.

Como se pode verificar durante este estudo, a exposição ao CO<sub>2</sub> é uma constante no decurso da fermentação alcoólica e enquadra-se dentro dos agentes químicos sujeitos a valores limite de exposição profissional. Os acidentes mortais mais frequentes são os que acontecem por intoxicação provocada por CO<sub>2</sub>, resultante do processo fermentativo. O CO<sub>2</sub> contamina a atmosfera da zona de lagares, conduzindo por substituição, à redução do teor de oxigénio, sendo facilmente a zona de lagares caracterizada como espaço confinado. O valor limite de exposição então considerado foi de 10 000 ppm, isto é, este é o valor máximo admissível para exposição que não pode ultrapassar 60 minutos.

Devido à variedade de fontes e poluentes, preconiza-se assim uma melhoria da ventilação geral da adega, principalmente no que respeita à sala de lagares. No método prescritivo de cálculo de cada uma das durações de fermentação apresentadas no presente trabalho determinaram-se os caudais mínimos de ar novo necessários. A renovação do ar da sala de lagares com 100% de ar novo permite a substituição do ar ambiente desta e conseqüentemente a extração de elementos contaminantes, uma vez que estes estão intimamente ligados aos deslocamentos de ar.

O estudo da energia necessária para manter as condições de conforto definidas na sala de lagares (temperatura e humidade relativa do ar), dada a renovação do ar interior e a qualidade dos vinhos, que depende, em grande medida, da existência de condições de fermentação adequadas, principalmente do controlo térmico, foi efetuado em múltiplos casos em função da localização da adega. As simulações realizadas indicaram a relevância do arrefecimento como principal necessidade energética no condicionamento do ar interior para as condições desejadas e na dissipação de calor devido à fermentação alcoólica.

Comparando as necessidades de arrefecimento com as de energia elétrica, verifica-se que o arrefecimento representa cerca de 67 a 68% das necessidades totais (arrefecimento e energia elétrica) para os diversos locais estudados.

Com as diversas localizações definidas pretendeu-se abranger, o melhor possível, as diferentes regiões de Portugal Continental explorando as variadas zonas climáticas. No entanto, o facto da documentação essencial (quantis empíricos, média, desvio padrão e extremos referentes à temperatura máxima diária do ar) ser de difícil acesso para outras localizações do país, não foi possível estudar, por exemplo, locais como são os casos do Peso da Régua, Monção, Fundão, etc., conhecidos pelas suas tradicionais regiões vinhateiras, como era desejo inicial.

A forma como este trabalho foi tratado matematicamente determina a flexibilidade e precisão do estudo realizado. A não consideração de alguns casos no balanço energético, a fixação de valores para algumas variáveis, a simplificação de certas condições e técnicas foram alguns dos aspetos prontamente recorridos para contornar certos obstáculos que se levantaram.

Algumas das dificuldades encontradas durante a realização deste trabalho deveram-se, principalmente, à:

- Dificuldade inicial em recolher informação/referências bibliográficas, dada a especificidade da temática e ausência de estudos idênticos ao aqui realizado;

- Dificuldade em aproximar o estudo o máximo possível à prática. Todos os critérios adotados e pressupostos assumidos foram alvo de uma análise e avaliação com vista a encurtar as distâncias entre as condições aqui tratadas e as de um ambiente vinícola;

- Impossibilidade do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, responsável pelas informações meteorológicas, facultar ou permitir consulta, mesmo para fins de investigação/trabalho académico, dos dados climáticos de referência. Dado que se pretendia locais específicos conhecidos pela tradição e qualidade dos seus vinhos, como também, dados climáticos de referência mais recentes, a única possibilidade da disponibilização destes prendia-se no pagamento de uma certa quantia, 181,72€, sendo deste modo os custos associados consideráveis para a maioria dos estudantes. Seria vantajoso, e fica a sugestão, que certas informações/dados/documentos possam estar mais disponíveis para consulta de futuros estudantes ou profissionais, visto existir nas instalações do referido instituto, uma biblioteca.

Apesar de alguns entraves sentidos, espera-se por fim, que o estudo realizado com este trabalho, que culminou na avaliação das renovações e necessidades energéticas, com base na concentração de CO<sub>2</sub> e em determinadas condições de fermentação possa contribuir para deliberações futuras no âmbito do controlo da fermentação e da melhoria das condições ambientais de segurança e higiene em salas de lagares.

### **Propostas de Trabalhos Futuros**

Com a expectativa que no futuro mais estudos acerca desta temática sejam abordados, este subcapítulo tem como objetivo descrever sumariamente perspectivas e recomendações de trabalhos futuros.

A temática aqui apresentada centrou-se no processo de fermentação alcoólica, futuramente, propõe-se o estudo da importância do controlo de temperatura e efeitos no mosto/vinho para outros processos da vinificação. Destacando-se dois processos onde é imprescindível a necessidade de refrigeração: estabilização e estágio.

Sugere-se também o desenvolvimento de uma ferramenta que, de uma maneira simples e rápida, possa servir de modelo para o dimensionamento de sistemas de ventilação existentes e também no auxílio do dimensionamento da ventilação de novas adegas, tendo a concentração de CO<sub>2</sub> como indicador.

Através de um projeto específico de uma adega, seria igualmente interessante avaliar, com maior rigor, as condições de conforto térmico e o desempenho energético da instalação através de uma simulação dinâmica. Este tipo de simulações são facilmente efetuadas com recurso à utilização de *software* específico para conceção de sistemas de climatização de edifícios e capacidades avançadas de análise de energia. Exemplo deste tipo de programas é o HAP (*Hourly Analysis Program*) da Carrier Corporation.

## Referências Bibliográficas

- [1] Instituto da Vinha e do Vinho, I.P. (2013). Vinhos e Aguardentes de Portugal. *Publicação 2012/13 sobre o Sector Vitivinícola em Portugal*. Lisboa, ISBN: 978-972-8023-42-3.
- [2] ViniPortugal (s.d.). Imprensa - Prémios e Pontuações. *Web site de ViniPortugal*: [http://www.viniportugal.pt/Imprensa/PremiosRankings#lateralContentplaceholder\\_C001](http://www.viniportugal.pt/Imprensa/PremiosRankings#lateralContentplaceholder_C001) [Acedido em 18 Março 2014].
- [3] Instituto da Vinha e do Vinho, I. P. (2014). Expedição/Exportação – Janeiro a Dezembro 2013. *Informação de Mercado*. Edição N.º 1/2014.
- [4] USDA Foreign Agricultural Service (2014). Global Agricultural Information Network. *Wine Annual Report and Statistics 2014*.
- [5] Amaral, M. (2013). *Sommelier Vinhos*: <http://sommeliervinhos.blogspot.pt/2013/01/dicas-de-vinhos-portugueses-para-o-verao.html> [Acedido em 18 Março 2014].
- [6] Instituto da Vinha e do Vinho, I. P. (2014). Produção de Vinho em Portugal. *Informação de Mercado*. Edição N.º 3/2014.
- [7] Jornal Oficial da União Europeia (2008). *Regulamento (CE) N.º 479/2008 do Conselho de 29 de Abril de 2008*.
- [8] Peynaud, E. (1993). Conhecer e trabalhar o vinho. Litexa Editora, Lda., ISBN: 972-578-037-X.
- [9] Jackson, R. S. (2008). *Wine Science - Principles and Applications*. 3rd ed., Elsevier Inc., p. 270, ISBN: 978-0-12-373646-8.
- [10] Flanzy, C. (2002). *Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos*. 2ª ed., Madrid, AMV Ediciones y Mundi Prensa.
- [11] Ministério da Solidariedade e da Segurança Social - Gabinete de Estratégia e Planeamento (2012). Acidentes de Trabalho 2010. *Coleção Estatísticas*. Edição Anual, Lisboa.
- [12] Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de Agosto. *Regulamento Geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos Estabelecimentos Comerciais, de Escritório e Serviços*. Diário da República - I Série - N.º 190, 20 Agosto 1986.
- [13] Viaud, M.; Briard, D.; Wisser, A.; Rochard, J. et Montcourant, E. (1998).

Recherches de paramètres de suivi du traitement biologique des effluents vinicoles par stockage aéré. In *Actes du 2ème Congrès International sur le Traitement des Effluents Vinicoles*. Bordeaux, CEMAGREF, pp. 271-278.

- [14] Curvelo-Garcia, A. S. (1988). *Controlo de Qualidade dos Vinhos: Química Enológica - Métodos Analíticos*. Lisboa, Instituto da Vinha e do Vinho (ed.).
- [15] Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (2009). *Infovini – Vinhos de Portugal*. *Infovini*: <http://www.infovini.com/pagina.php?codNode=18100> [Acedido em 23 Maio 2014].
- [16] Maza, M. (2013). *La Bodega. Asignatura Enología I*. Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ciencias Agrarias.
- [17] Pirra, António J. D. (2005). *Caracterização e Tratamento de Efluentes Vinícolas da Região Demarcada do Douro*. Tese de Doutoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro - Departamento de Fitotecnia e Engenharia Rural, Vila Real.
- [18] Carvalheira, J. (2012). *Controlo da temperatura de fermentação e arrefecimento de mostos*. *Curso Intensivo de Vinificação*. Estação Vitivinícola da Bairrada (ed.).
- [19] Ribéreau-Gayon, P.; Dubourdieu, D.; Donèche, B. et Lonvaud, A. (2004). *Traité d'oenologie*. 5ème éd., vol. I, Paris, Dunod, ISBN 2 10 007301 X.
- [20] Calderón, F. y Navascués, E. (2002). *Aplicación de la ingeniería del frío a la industria enológica - Necesidades frigoríficas en bodega*. *Tecnología del vino*. Alción (ed.), pp. 23-28.
- [21] Cardoso, A. D. (2007). *O Vinho da Uva à Garrafa*. Âncora Editora, ISBN: 978-972-708-208-1.
- [22] Ribéreau-Gayon, P.; Dubourdieu, D.; Donèche, B. and Lonvaud, A. (2006). *Handbook of Enology - The Microbiology of Wine and Vinifications*. 2nd ed., vol. 1, John Wiley & Sons, Ltd., ISBN: 978-0-470-01034-1.
- [23] Sogrape Vinhos, S.A. (2015). *Enciclopédia Vinhas & Vinhos*. *Web site de Sogrape Vinhos*: [http://www.sograpevinhos.com/enciclopedia/guia\\_vinho/vinificacao/tintos?detalhe=fermentacaoAlc](http://www.sograpevinhos.com/enciclopedia/guia_vinho/vinificacao/tintos?detalhe=fermentacaoAlc) [Acedido em 4 Janeiro 2015].
- [24] Tomás, R. A. (2010). *Mecanismos moleculares y bioquímicos implicados en la adaptación de Saccharomyces cerevisiae a las bajas temperaturas de fermentación*. Tesis Doctoral, Universitat Rovira i Virgili, Facultat D' Enología - Dept.

- Bioquímica i Biotecnologia, Tarragona, p. 237, ISBN:978-84-694-1240-4.
- [25] Blouin, J. y Peynaud, É. (2006). *Enología Práctica: conocimiento y elaboración del vino*. 4ª ed., Ediciones Mundi-Prensa, pp. 37-42, ISBN: 9788484761600.
- [26] ASHRAE (2009). *ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., ISBN: 978-1-933742-56-4.
- [27] Engineering ToolBox - Tools and Basic Information for Design, Engineering and Construction of Technical Applications. *The Engineering ToolBox*: [http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d\\_689.html](http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d_689.html) [Acedido em 20 Março 2014].
- [28] American National Standards Institute (2001). ANSI/ASHRAE Standard 62-2001: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., p. 25, ISSN: 1041-2336.
- [29] Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (2009). *Infovini – Vinhos de Portugal*. *Infovini*: <http://www.infovini.com/pagina.php?codNode=3929#tab0> [Acedido em 2 Julho 2014].
- [30] Frade, J. e Severo, F. (2006). *Climatização Geral*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Área Departamental de Engenharia Mecânica.
- [31] Carrier Corporation (s.d.). *Manuel Carrier - Bilan Thermique (1ère Partie)*. New York, Carrier International Ltd., pp. 95-96.
- [32] Rodrigues, A. M.; da Piedade, A. C. e Braga, A. M. (2009). *Térmica de Edifícios*. 1.ª ed., Amadora, Edições Orion, pp. 223-283, ISBN: 978-972-8620-13-4.
- [33] Carvalheira, J. (2012). *A Conceção da Adega. Estação Vitivinícola da Bairrada* (ed.).
- [34] Dossat, Roy J. (s.d.). *Principles of Refrigeration*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 115-149, ISBN: 0-471-03550-5.
- [35] Roriz, L. (2006). *Climatização - Conceção, Instalação e Condução de Sistemas*. Edições ORION, pp. 328-341, ISBN: 9789728620097.
- [36] Wesper by Airwell Group (2013). *WinClim II - Selection Software for Air Handling Units*. Version 2.1.1.

[37] Carpinteiro, J. (2011). Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado. 3ª ed., Lisboa, Verlag Dashofer Edições Profissionais, Unip., Lda., pp. 201-204, ISBN: 978-989-642-085-7.

# **Anexos**

## **Guia de Anexos**

**Anexo A:** Massa molar, constante universal de gás perfeito e propriedades de ponto crítico

**Anexo B:** Valores limite de exposição, com critérios profissionais, para diversos agentes contaminantes

**Anexo C:** Estatísticas Climatológicas de Santarém

**Anexo D:** Normal Climatológica de Santarém

**Anexo E:** Condições Exteriores Santarém

**Anexo F:** Evolução Psicrométrica Santarém (5 Dias Fermentação)

**Anexo G:** Etapas de seleção e dimensionamento da Unidade de Insuflação

**Anexo H:** Etapas de seleção e dimensionamento da Unidade de Extração

**Anexo I:** Evolução Psicrométrica Santarém (8 Dias Fermentação)

**Anexo J:** Evolução Psicrométrica Santarém (12 Dias Fermentação)

**Anexo K:** Evoluções Psicrométricas conforme a localização (5 Dias Fermentação)

**Anexo L:** Esquema do Sistema de Climatização para a Zona de Lagares



## **Anexo A**

### **Massa molar, constante universal de gás perfeito e propriedades de ponto crítico**



TABLE A – 1

Molar mass, gas constant, and critical-point properties

Substance	Formula	Molar mass, <i>M</i> kg/kmol	Gas constant, <i>R</i> kJ/kg · K*	Critical-point properties		
				Temperature, K	Pressure, MPa	Volume, m <sup>3</sup> /kmol
Air	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Ammonia	NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argon	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromine	Br <sub>2</sub>	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
<i>n</i> -Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Carbon monoxide	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Chlorine	Cl <sub>2</sub>	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Chloroform	CHCl <sub>3</sub>	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Dichlorodifluoromethane (R-12)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Dichlorofluoromethane (R-21)	CHCl <sub>2</sub> F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Ethyl alcohol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helium	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
<i>n</i> -Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hydrogen (normal)	H <sub>2</sub>	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Krypton	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Methane	CH <sub>4</sub>	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Methyl alcohol	CH <sub>3</sub> OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Methyl chloride	CH <sub>3</sub> Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Neon	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrogen	N <sub>2</sub>	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Oxygen	O <sub>2</sub>	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propylene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Tetrafluoroethane (R-134a)	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	102.03	0.08149	374.2	4.059	0.1993
Trichlorofluoromethane (R-11)	CCl <sub>3</sub> F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Water	H <sub>2</sub> O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0560
Xenon	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

\*The unit kJ/kg · K is equivalent to kPa · m<sup>3</sup>/kg · K. The gas constant is calculated from  $R = R_u/M$ , where  $R_u = 8.31447$  kJ/kmol · K and  $M$  is the molar mass.

Source: K. A. Kobe and R. E. Lynn, Jr., *Chemical Review* 52 (1953), pp. 117–236; and ASHRAE, *Handbook of Fundamentals* (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), pp. 16.4 and 36.1.



## **Anexo B**

### **Valores limite de exposição, com critérios profissionais, para diversos agentes contaminantes**



	Canadian <sup>c</sup>	WHO/Europe	NAAQS/EPA <sup>f</sup>	NIOSH REL (TWA) <sup>h</sup>	OSHA (TWA) <sup>h</sup>	ACGIH (TWA) <sup>h</sup>	MAK <sup>g</sup> (TWA) <sup>h</sup>
Acrolein	0.02 ppm <sup>a</sup>			0.1 ppm 0.3 ppm (15 min)	0.1 ppm	C 0.1 ppm, A4	
Acetaldehyde	5.0 ppm			Ca: ALARA <sup>b</sup>	200 ppm	C 25 ppm	50 ppm 100 ppm (5 min)
Formaldehyde	0.1 ppm (1 h) 0.04 ppm (8 h)	0.081 ppm (30 min)		0.016 ppm 0.1 ppm (15 min)	0.75 ppm 2 ppm (15 min)	C 0.3 ppm, A2	0.3 ppm 1.0 ppm (5 min)
Carbon dioxide	3500 ppm			5000 ppm 30 000 ppm (15 min)	5000 ppm	5000 ppm 30 000 ppm (15 min)	5000 ppm 10 000 ppm (60 min)
Carbon monoxide	11 ppm (8 h) 25 ppm (1 h)	8.6 ppm (8 h) 25 ppm (1 h) 51 ppm (30 min) 86 ppm (15 min)	9 ppm (8 h) 35 ppm (1 h)	35 ppm C 200 ppm	50 ppm	25 ppm	30 ppm 60 ppm (30 min)
Nitrogen dioxide	0.05 ppm 0.25 ppm (1 h)	0.02 ppm (1 yr) 0.1 ppm (1 h)	0.053 ppm (1 yr)	1 ppm (15 min)	C 5 ppm	3 ppm 5 ppm (15 min), A4	5 ppm 10 ppm (5 min)
Ozone	0.12 ppm (1 h); Insufficient data for long-term level	0.06 ppm (8 h)	0.12 ppm (1 h) 0.085 ppm (8 h)	C 0.1 ppm	0.1 ppm	0.05 ppm, A4 (for heavy work) 0.2 ppm (2 h) (light, moderate, or heavy work)	
Particles <2.5 MMAD <sup>d</sup>	40 µg/m <sup>3</sup> (8 h) 100 µg/m <sup>3</sup> (1 h)		15 µg/m <sup>3</sup> (1 yr) 35 µg/m <sup>3</sup> (24 h)		5 mg/m <sup>3</sup> (respirable fraction)	3 mg/m <sup>3</sup> (8 h) (no asbestos, <1% crystalline silica, with median cut point of 4.0 µm)	1.5 mg/m <sup>3</sup> (for less than 4 µm)
Sulfur dioxide	0.019 ppm 0.38 ppm (5 min)	0.047 ppm (24 h) 0.019 ppm (1 yr)	0.03 ppm (1 yr) 0.14 ppm (24 h)	2 ppm (8 h) 5 ppm (15 min)	5 ppm	2 ppm 5 ppm (15 min)	0.5 ppm 1.0 ppm (5 min)
Radon	800 Bq/m <sup>3</sup> <sup>e</sup>		4 pCi/l				

( ) Numbers in parentheses represent averaging periods  
C = ceiling limit  
Ca = carcinogen  
A4 = not classifiable as human carcinogen per ACGIH

<sup>a</sup>Parts per million (10<sup>6</sup>)  
<sup>b</sup>As low as reasonably achievable  
<sup>c</sup>Health Canada *Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality*  
<sup>d</sup>Mass median aerodynamic diameter

<sup>e</sup>Mean in normal living areas  
<sup>f</sup>U.S. EPA National Ambient Air Quality Standards  
<sup>g</sup>German Maximale Arbeitsplatz Konzentrationen  
<sup>h</sup>Value for 8-h TWA, unless otherwise noted  
<sup>i</sup>WHO Air Quality Guidelines for Europe



# **Anexo C**

## **Estatísticas Climatológicas de Santarém**



INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFISICCA

DIVISAO DE CLIMATOLOGIA

TEMPERATURA MAXIMA DIARIA DO AR (GRAU C)

VALORES DE: QUANTIS EMPIRICOS, MEDIA, DESVIO PADRAO E EXTREMOS

SANTAREM/ESCOLA AGR ( 132)

LAT: 39 15N;LONG: 08 42W;ALT: 54M

PERIODO:1951-1980

QUAN.(%)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANU	INV	PRI	VER	OUT
* 1.0 *	7.7	8.2	11.5	13.5	15.2	18.0	22.5	23.0	19.0	16.0	11.2	7.5	10.0	8.0	12.0	19.5	12.8
* 2.5 *	9.5	10.0	12.0	14.2	16.0	19.0	23.4	23.5	20.8	16.8	12.6	8.8	11.5	9.3	13.2	20.8	14.0
* 5.0 *	10.3	11.0	13.0	15.0	17.0	20.0	24.5	24.5	21.6	17.7	13.5	10.0	12.7	10.5	14.1	22.1	15.0
* 10.0 *	11.5	12.0	14.0	16.0	17.8	21.4	25.5	26.0	23.0	18.8	14.4	11.6	14.0	11.6	15.2	23.6	16.2
* 20.0 *	12.5	13.5	15.0	17.0	19.3	23.0	26.8	27.0	24.5	20.3	15.5	13.0	15.5	13.0	16.5	25.5	18.0
* 25.0 *	13.0	14.0	15.5	17.5	19.9	23.7	27.4	27.6	25.0	20.7	16.0	13.5	16.4	13.5	17.2	26.4	18.7
* 30.0 *	13.4	14.5	15.8	18.0	20.4	24.5	27.8	28.2	25.7	21.2	16.2	13.7	17.0	13.8	17.6	27.0	19.5
* 40.0 *	14.0	15.0	16.5	19.0	21.5	25.5	29.0	29.0	26.7	22.0	17.0	14.5	18.7	14.5	18.7	28.0	21.0
* 50.0 *	14.5	15.5	17.4	20.0	23.0	26.8	30.0	30.2	27.8	23.0	17.5	15.0	21.0	15.0	20.0	29.1	22.6
* 60.0 *	15.0	16.0	18.0	21.0	24.2	28.0	31.0	31.5	29.0	24.0	18.4	15.5	23.5	15.5	21.0	30.4	24.5
* 70.0 *	15.6	16.5	19.0	22.0	25.9	29.4	32.4	32.5	30.5	25.3	19.0	16.0	26.0	16.0	22.4	31.5	26.0
* 75.0 *	16.0	17.0	19.6	22.5	26.8	30.0	33.0	33.0	31.2	26.0	19.4	16.5	27.4	16.5	23.2	32.4	27.0
* 80.0 *	16.5	17.5	20.4	23.4	27.6	31.0	34.0	33.8	32.0	26.7	19.8	16.8	28.5	17.0	24.0	33.0	28.0
* 90.0 *	17.2	19.0	22.0	25.0	29.8	33.0	36.0	36.0	34.5	28.8	21.0	17.7	31.5	17.9	26.8	35.3	31.0
* 95.0 *	18.0	20.0	23.9	26.5	32.0	34.6	37.5	38.0	36.0	30.5	22.6	18.5	34.0	18.8	29.0	37.0	33.4
* 97.5 *	18.5	21.0	25.0	28.0	34.1	35.8	38.7	39.5	37.4	32.5	23.7	19.0	36.0	19.5	30.6	38.4	35.2
* 99.0 *	19.2	22.0	26.2	29.5	35.7	37.7	40.0	40.4	39.0	33.8	25.4	19.9	38.0	20.8	33.5	40.0	37.0
* N.OBS	929	848	930	899	930	900	930	930	900	930	900	929	10955	2706	2759	2760	2730
* N.FAL	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	0	0
* MEDIA	14.4	15.5	17.7	20.3	23.5	27.0	30.4	30.6	28.3	23.5	17.7	14.8	22.0	14.9	20.5	29.3	23.2
* D.PAD	2.32	2.64	3.24	3.54	4.69	4.46	4.01	3.97	4.36	3.88	2.83	2.49	6.85	2.52	4.56	4.45	5.69
*MENOR V.	5.0	4.2	8.0	11.2	12.5	16.0	20.0	19.8	15.0	14.5	10.0	4.5	4.2	4.2	8.0	16.0	10.0
* DIA/MES	3	2	8	12	8	4	7	28	12	11	25	25	2/ 2	2/ 2	8/ 3	4/ 6	25/11
* AND	1971	1954	1971	1974	1970	1971	1977	1958	1952	1972	1965	1962	1954	1954	1971	1971	1965
*MAIOR V.	20.6	25.0	29.0	31.5	37.2	41.0	41.5	42.2	42.0	36.0	30.0	21.5	42.2	25.0	37.2	42.2	42.0
* DIA/MES	12	28	4	30	10	30	10	28	5	3	2	1	28/ 8	28/ 2	10/ 5	28/ 8	5/ 9
* AND	1976	1960	1971	1958	1965	1968	1952	1962	1970	1970	1970	1953	1962	1960	1965	1962	1970



**Anexo D**  
**Normal Climatológica de Santarém**



ESTAÇÃO: SANTARÉM/ESC. AGRÍCOLA

MÉDIAS DE 1951/1980

$\phi = 32^{\circ} 15' N$ ;  $\lambda = 80^{\circ} 42' W$ ;  $g = 9,8009 \text{ m/s}^2$ ;  $\Delta G = 0 \text{ h}$ ;  $H_s = 54 \text{ m}$ ;  $H_B = 59 \text{ m}$ ;  $h_1 = 1,5 \text{ m}$ ;  $h_a = 6,0 \text{ m}$ ;  $H_D = 6,0 \text{ m}$ ;  $h_r = 1,5 \text{ m}$

Pressão atmosférica P (mb)		Temperatura do ar								Mês
No. local	Red. ao nível do mar	$\bar{T}$ (°C)			T (°C)					
		9 h	12 h	18 h	Mensal	Max	Min	Max	Min	
-	-	7,5	-	11,7	9,9	14,4	5,5	20,6	-4,4	Janeiro
-	-	8,7	-	12,7	10,8	15,5	6,1	25,0	-4,5	Fevereiro
-	-	10,9	-	14,6	12,5	17,7	7,4	29,0	-3,5	Março
-	-	13,7	-	16,8	14,4	20,3	8,6	31,5	0,4	Abril
-	-	17,0	-	19,7	17,1	23,5	10,8	37,2	4,3	Maio
-	-	19,9	-	23,1	20,1	27,0	13,2	41,0	7,0	Junho
-	-	21,9	-	26,2	22,7	30,4	14,9	41,5	9,0	Julho
-	-	21,4	-	25,8	22,8	30,6	15,0	42,2	9,4	Agosto
-	-	19,2	-	23,4	21,2	28,3	14,1	42,0	7,0	Setembro
-	-	15,7	-	19,1	17,7	23,5	11,8	36,0	-0,5	Outubro
-	-	10,8	-	14,2	12,9	17,8	8,0	30,0	-3,7	Novembro
-	-	7,8	-	11,7	10,2	14,8	5,7	21,5	-3,2	Dezembro
-	-	14,5	-	18,3	16,0	22,0	10,1	42,2	-4,5	Ano

Humidade relativa do ar U (%)			Nebulosidade N (0-10)			Insolação I		Precipitação R (mm)		Evaporação (mm)	Mês
9 h	12 h	18 h	9 h	12 h	18 h	Total (h)	Percent (%)	Total	Max (diária)		
91	-	79	6	-	6	118,8	42	109,4	66,0	40,2	Janeiro
88	-	74	6	-	6	145,7	49	96,3	49,0	48,7	Fevereiro
84	-	69	6	-	6	187,0	51	92,6	54,4	69,7	Março
76	-	64	5	-	5	241,0	62	53,9	40,3	86,2	Abril
72	-	61	5	-	5	283,6	66	48,0	47,5	102,1	Maio
69	-	57	5	-	4	311,9	71	22,7	36,4	121,1	Junho
66	-	51	3	-	2	360,3	81	3,6	17,5	156,3	Julho
69	-	53	3	-	2	340,7	81	6,3	18,5	158,3	Agosto
77	-	60	4	-	4	248,3	67	33,4	65,7	120,2	Setembro
83	-	70	5	-	5	201,7	59	78,9	56,0	84,3	Outubro
88	-	78	6	-	5	140,5	49	99,4	104,5	54,1	Novembro
91	-	80	6	-	5	122,1	43	92,4	46,5	42,8	Dezembro
79	-	66	5	-	5	2701,6	60	736,9	104,5	1084,0	Ano



**Anexo E**  
**Condições Exteriores Santarém**





# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

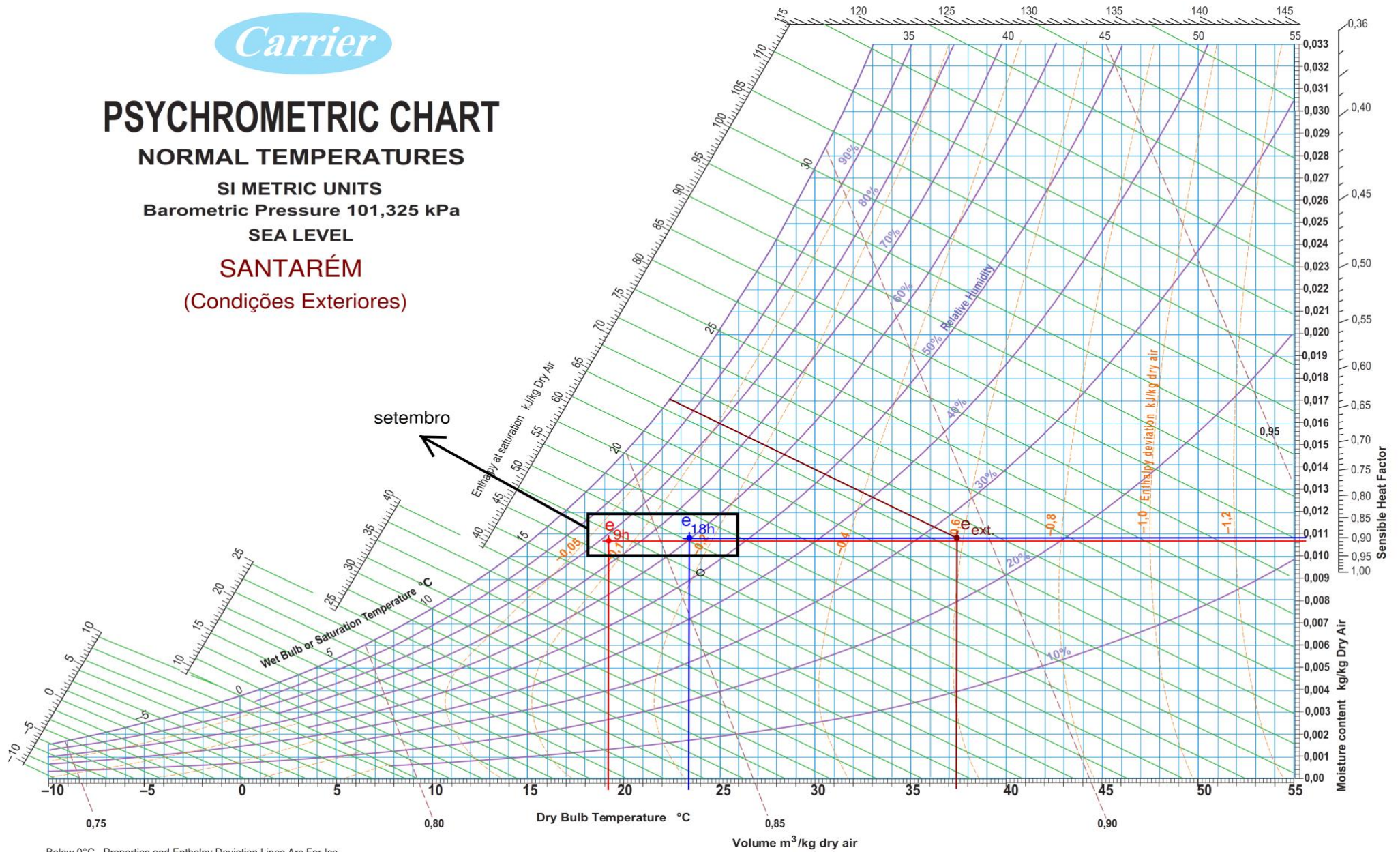
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

SANTARÉM

(Condições Exteriores)



Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice



## **Anexo F**

### **Evolução Psicrométrica Santarém (5 Dias Fermentação)**





# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

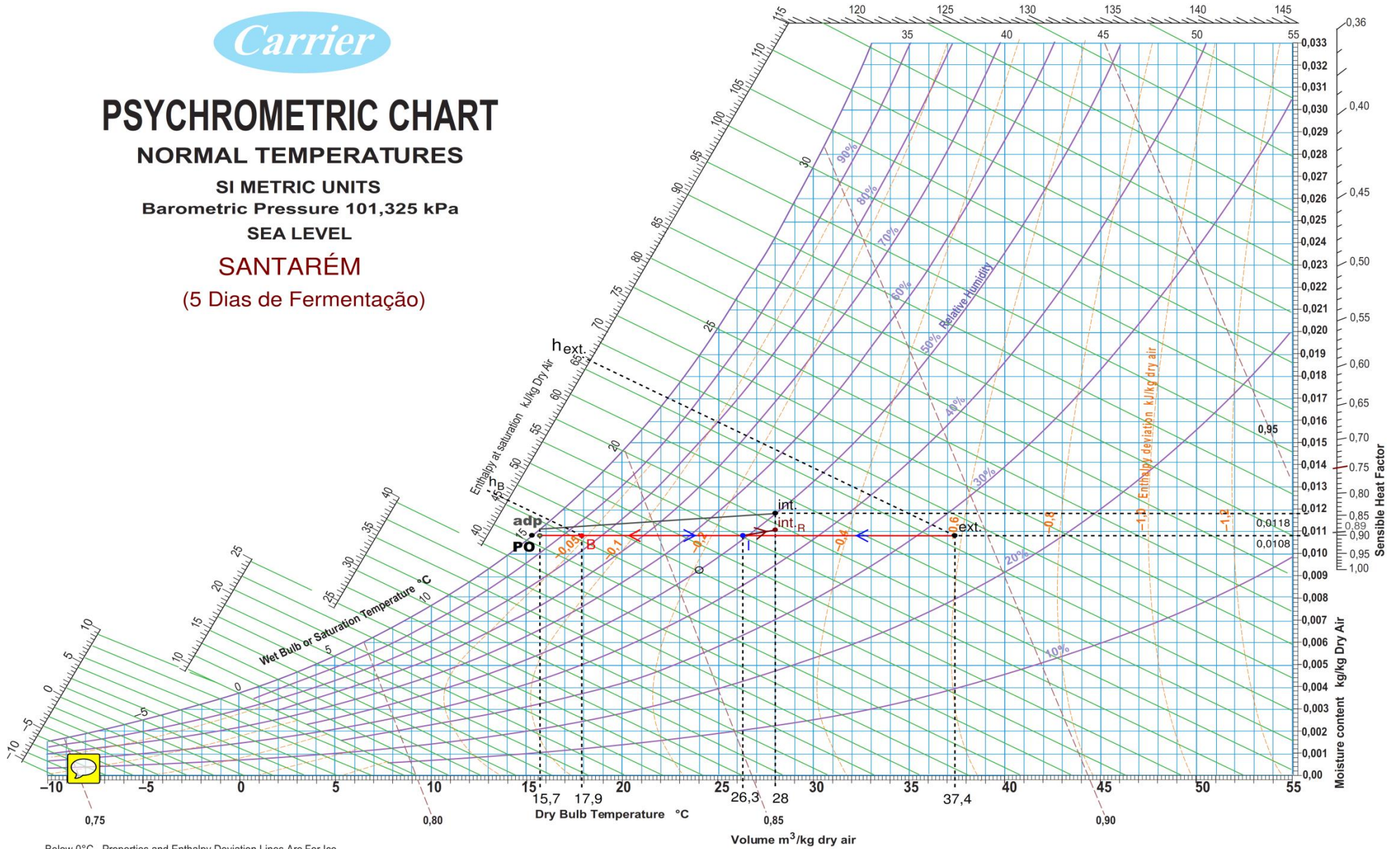
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

SANTARÉM

(5 Dias de Fermentação)



Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice



## **Anexo G**

### **Etapas de seleção e dimensionamento da Unidade de Insuflação**



## Passo 1: Pré-selecção

Pré-selecção


Unidade de extracção em linha ou em U

Unidade de insuflação em linha ou em U

Unidade duplo fluxo em linha

Unidade duplo fluxo sobreposta ou lado a lado

*ok* *anular*



## Passo 2: Dados Caudais de Ar

Caudais de ar

Ficheiro

Tamanho	Filtragem H1: Atenuação	Caudal de ar max. [m3/h]
PR 020	1701	3251
PR 040	3401	5972
PR 060	5101	8959
PR 090	6801	11945
PR 120	10201	14866
PR 160	13601	19656
PR 200	17001	24570
PR 240	20401	29484
PR 300	25501	36061
PR 360	30601	42865
TR 400	30600	62193
TR 500	40801	79167
TR 700	51001	94783
TR 900	68001	124936
TR 1000	81601	151785

Caudal de ar insuflação: 2647,1 m<sup>3</sup>/h  
 0,74 m<sup>3</sup>/s  
 Caudal de ar Retorno: 0 m<sup>3</sup>/h  
 0 m<sup>3</sup>/s  
 Velocidade frontal máx: 2,7 m/s

Modelo seleccionado: < PR 040 >

Temperatura exterior de projecto: 37,4 °C  
 Relação mistura = ar recirc./ar insuflação: 0 %

ok  
 anular

## Passo 3: Filtro

Filtro: Filtro sintético G4

Medidas e pesos | Características técnicas | Opções

Dados filtro		Rendimentos		Qt. Filtros	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	2647,1 m <sup>3</sup> /h	592 x 592	1
Classe do Filtro	G4		0,735 m <sup>3</sup> /s		
Superfície frontal	0,372 m <sup>2</sup>	PDC inic./final	34/150 Pa		
		PDC cálc.	92 Pa		

## Passo 4: Arrefecimento

**Arrefecimento** Modificação de características ok anular

Medidas e pesos | Características técnicas | Opções

Dados bateria		Rendimentos		Dados fluido	
Tipo	Bateria	Caudal de ar	2647,1 m³/h	Tipo	Água
Material	Cu/Al	@ 1,12 kg/m³	0,735 m³/s	Glicol	0 %
Velocidade frontal	2,2 m/s	Entrada de ar	37,4/27 °C/%HI	Entrada/Saída	7/12 °C
Superfície frontal	0,33 m²	Saída de ar	17,9/78 °C/%HI	Caudal	3097 l/h
Fiadas/Circuitos	6/14	Factor de	13 %	Velocidade	1 m/s
Passo das alhetas	2,5 mm	Pot. Total	18,1 kW	PDC	18,9 kPa
Ligações	DN32	Pot. Sensível	17,4 kW	Temp. min. (anti-gelo)	0 °C
		Condensação	4,8 l/h		
		PD dry/wet	75/99 Pa		

## Passo 5: Ventilador de Insuflação

**Ventilador de insuflação** Modificação de características ok anular

Medidas e pesos | Características técnicas | Opções | Insuflação frontal

Dados do ventilador		Dados motor		Rendimentos	
Tamanho	RLM 56-2831 Standard	Potência nom./abs.	1,1/0,81 kW	Caudal de ar	2647,1 m³/h
Pás	Ventilador Plug Fan	Tensão	230/400V-3ph-50Hz	@ 1,2 kg/m³	0,735 m³/s
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Tipo motor	IP55 Standard PTO / IE2	PDC CTA	218 (136) Pa
Velocidade	2446/3050 rpm	Freq. func./máx.	42/53 Hz	Pressão disp.	300 Pa
Eficiência	75 %	Velocidade nom.	2880 rpm	Pressão din.	38 Pa
Potência no veio	0,55 kW	Intens. nom./abs.	2,3/1,69 A	Pressão total	556 (474) Pa
RPM margin	5 %	SFPe/SFPv	1102/938 W/(m³/)		

Níveis Sonoros	Total	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Lw Aspiração	73 dB(A)	65 dB	64 dB	75 dB	71 dB	68 dB	62 dB	60 dB	55 dB
Lp*	30 dB(A)	32 dB	28 dB	33 dB	29 dB	22 dB	19 dB	11 dB	0 dB

\* Pressão acústica calculada  
a  m



## **Anexo H**

### **Etapas de seleção e dimensionamento da Unidade de Extração**



## Passo 1: Pré-selecção

Pré-selecção

Unidade de extracção em linha ou em U

Unidade de insuflação em linha ou em U

Unidade duplo fluxo em linha

Unidade duplo fluxo sobreposta ou lado a lado

*ok* *anular*

The diagram illustrates four different HVAC unit configurations. Each configuration is shown as a cross-section of a duct system with various components like fans, filters, and coils. The first configuration shows a single extraction unit. The second shows an inflation unit. The third shows two double flow units in a line. The fourth shows two double flow units, one overlapping the other or placed side-by-side.

## Passo 2: Dados Caudais de Ar

Caudais de ar

Ficheiro

Tamanho	Filtragem H1: Atenuação	Caudal de ar max. [m3/h]	ε
PR 020	1701	3251	
PR 040	3401	5972	
PR 060	5101	8959	
PR 090	6801	11945	
PR 120	10201	14666	
PR 160	13601	19656	
PR 200	17001	24570	
PR 240	20401	29484	
PR 300	25501	36061	
PR 360	30601	42865	
TR 400	30600	62193	
TR 500	40801	79167	
TR 700	51001	94783	
TR 900	68001	124936	
TR 1000	81601	151785	

Caudal de ar max. [m3/h]  
= 10000000 m³/h

Velocidade min. na bateria eléctrica 1.5 m/s  
Velocidade máx. na bateria Arrefec. 3.5 m/s  
Velocidade máx. na bateria Aquec. 4 m/s  
Velocidade frontal real = 2,3 m/s  
Velocidade do ar no túnel = 1,5 m/s

Caudal de ar insuflação: 0 m³/h  
Caudal de ar insuflação: 0 m³/s  
Caudal de ar Retorno: 2647,1 m³/h  
Caudal de ar Retorno: 0,74 m³/s  
Velocidade frontal máx.: 3,5 m/s

Modelo seleccionado: < PR 040 >

Temperatura exterior de projecto: 37,4 °C  
Relação mistura = ar recirc./ar insuflação: 0 %

ok  
anular

## Passo 3: Filtro

Filtro A

Filtro sintético G4

ok anular

Medidas e pesos Características técnicas Opções

Dados filtro		Rendimentos		Qt. Filtros	
Tipo	Filtro sintético	Caudal de ar	2647,1 m³/h	592 x 592	1
Classe do Filtro	G4		0,735 m³/s		
Superfície frontal	0,372 m²	PDC inic./final	34/150 Pa		
		PDC cálc.	92 Pa		

## Passo 4: Ventilador de Extração

*Ventilador de retorno* Modificação de características

Medidas e pesos   Insuflação frontal ▾

<i>Dados do ventilador</i>		<i>Dados motor</i>		<i>Rendimentos</i>	
Tamanho	RLM 56-3135 Standard	Potência nom./abs.	0,75/0,48 kW	Caudal de ar	2647,1 m³/h
Pás	Ventilador Plug Fan	Tensão	230/400V-3ph-50Hz	@ 1,2 kg/m³	0,735 m³/s
Amortecedores	Amortecedores de borracha	Tipo motor	IP55 Standard PTO / IE2	PDC CTA	96 (38) Pa
Velocidade	1677/2180 rpm	Freq. func./máx.	59/77 Hz	Pressão disp.	200 Pa
Eficiência	75 %	Velocidade nom.	1415 rpm	Pressão din.	24 Pa
Potência no veio	0,31 kW	Intens. nom./abs.	1,8/1,15 A	Pressão total	320 (262) Pa
RPM margin	5 %	SFPe/SFPv	653/530 W/(m³/s)		

Níveis Sonoros	Total	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	* Pressão acústica calculada a <input style="width: 40px;" type="text" value="2"/> m
Lw Aspiração	67 dB(A)	59 dB	58 dB	69 dB	65 dB	62 dB	56 dB	54 dB	49 dB	
Lp*	24 dB(A)	26 dB	22 dB	27 dB	23 dB	16 dB	13 dB	5 dB	0 dB	



## **Anexo I**

### **Evolução Psicrométrica Santarém (8 Dias Fermentação)**





# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

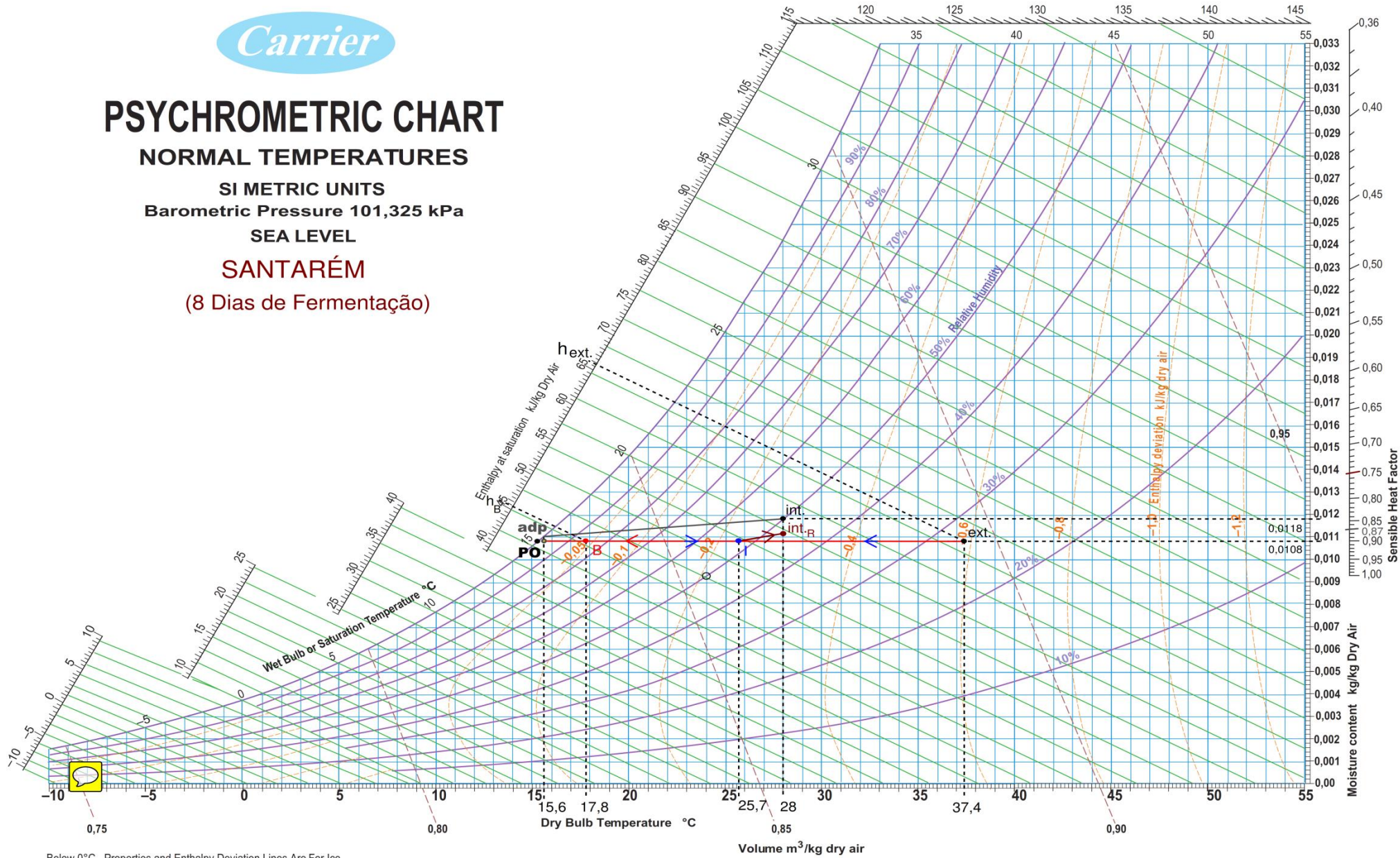
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

SANTARÉM

(8 Dias de Fermentação)



Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice



## **Anexo J**

### **Evolução Psicrométrica Santarém (12 Dias Fermentação)**





# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

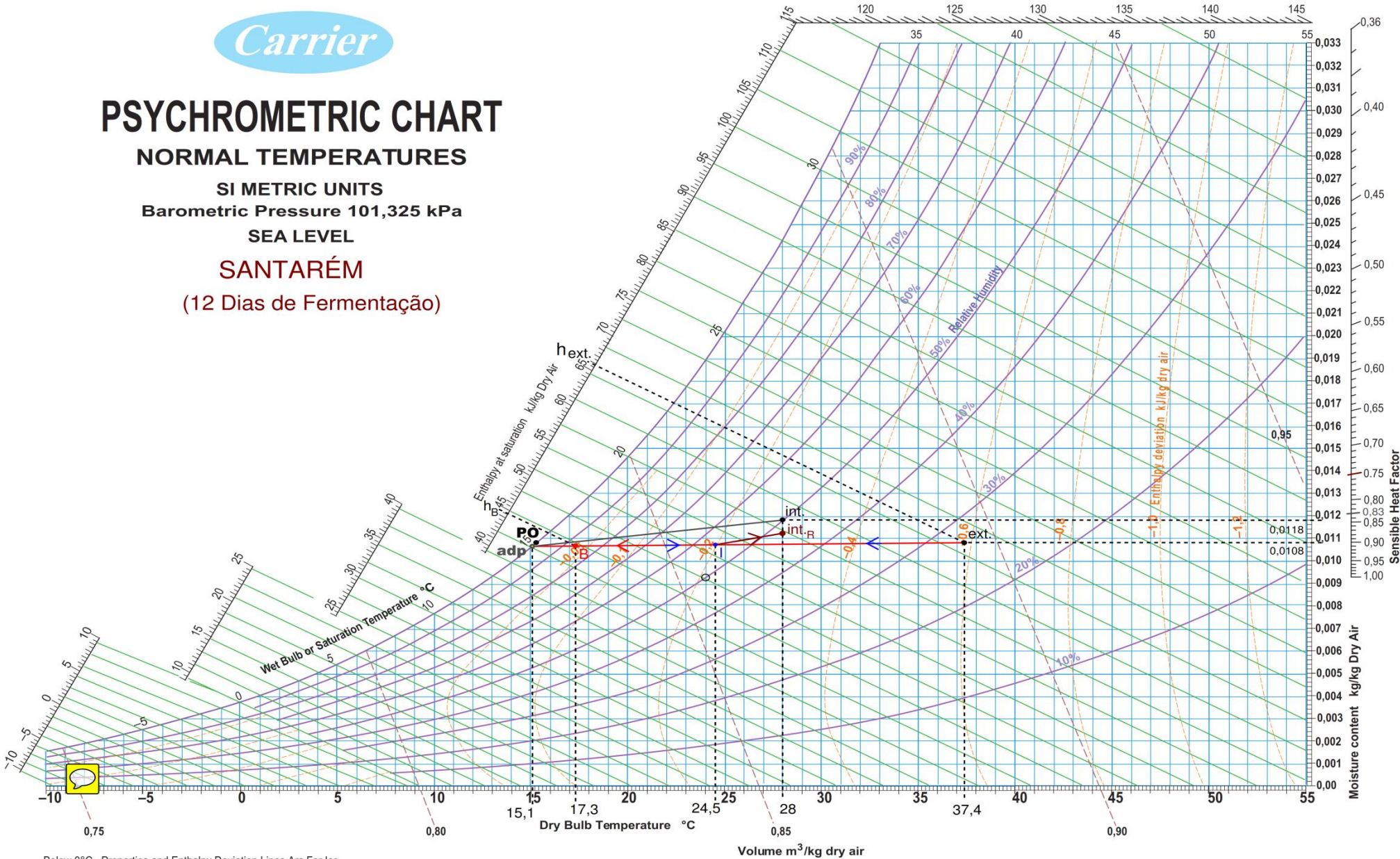
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

SANTARÉM

(12 Dias de Fermentação)



Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice



## **Anexo K**

### **Evoluções Psicrométricas conforme a localização (5 Dias Fermentação)**





# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

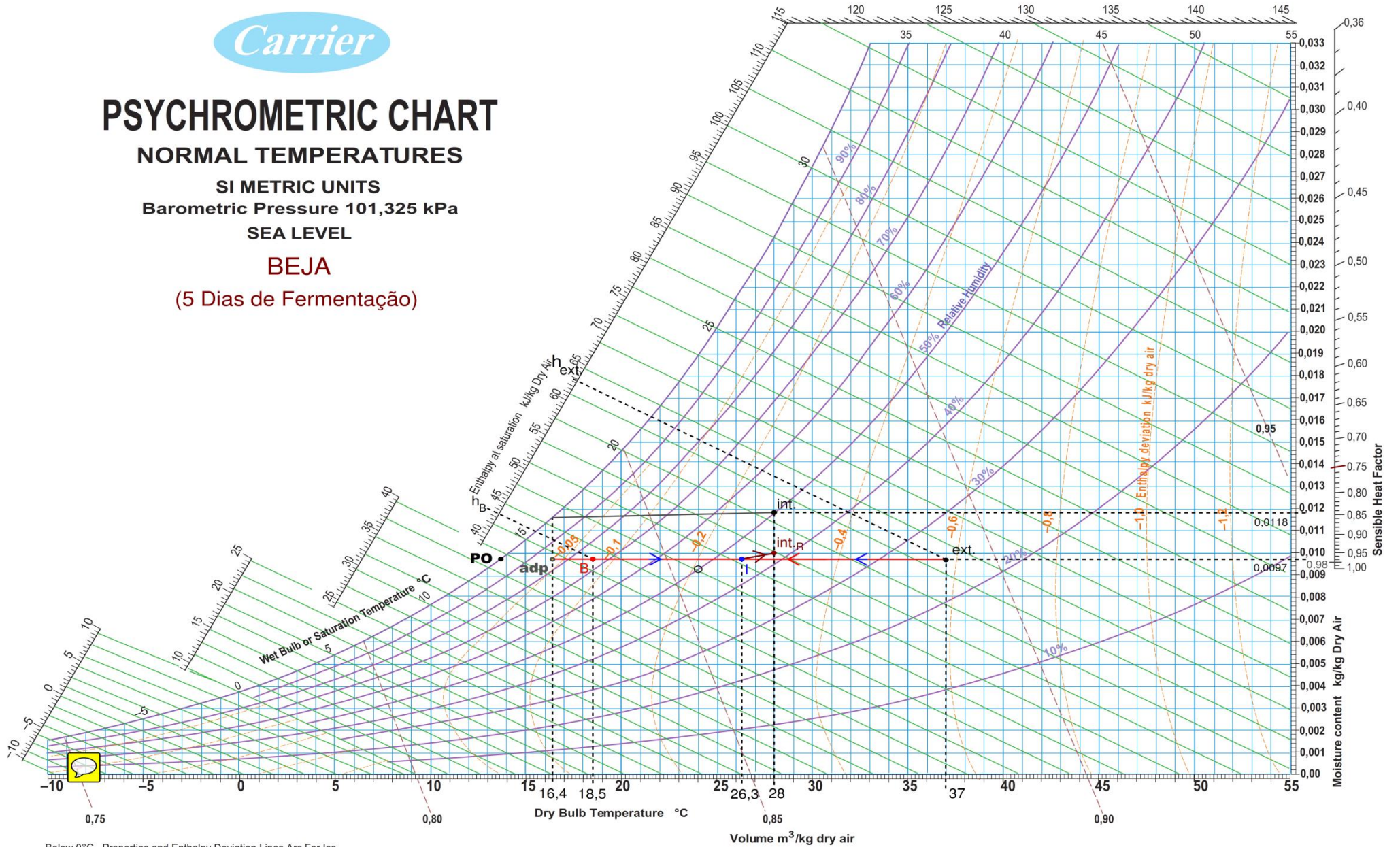
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

BEJA

(5 Dias de Fermentação)



Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice









# PSYCHROMETRIC CHART

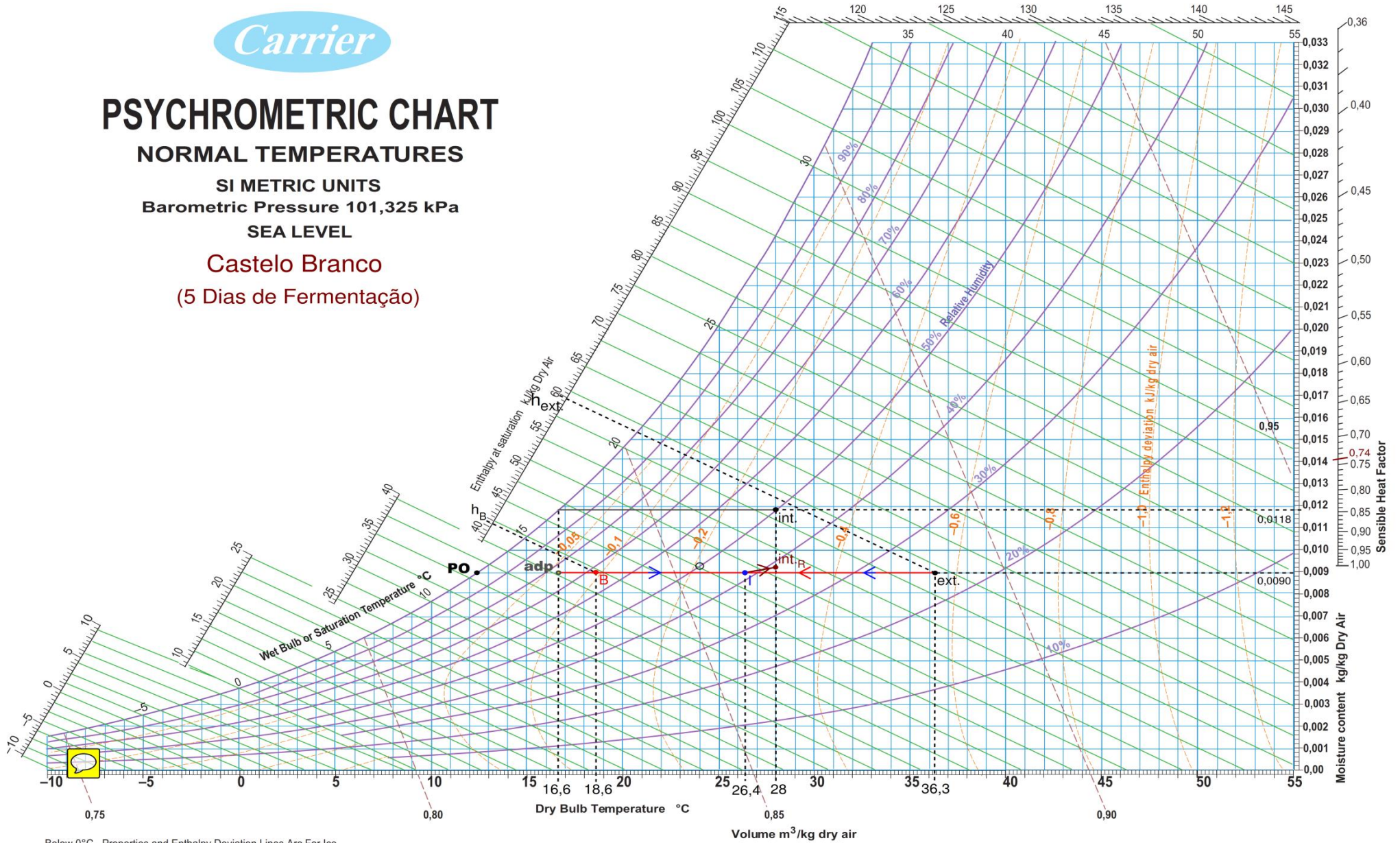
NORMAL TEMPERATURES

SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

Castelo Branco  
(5 Dias de Fermentação)







# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

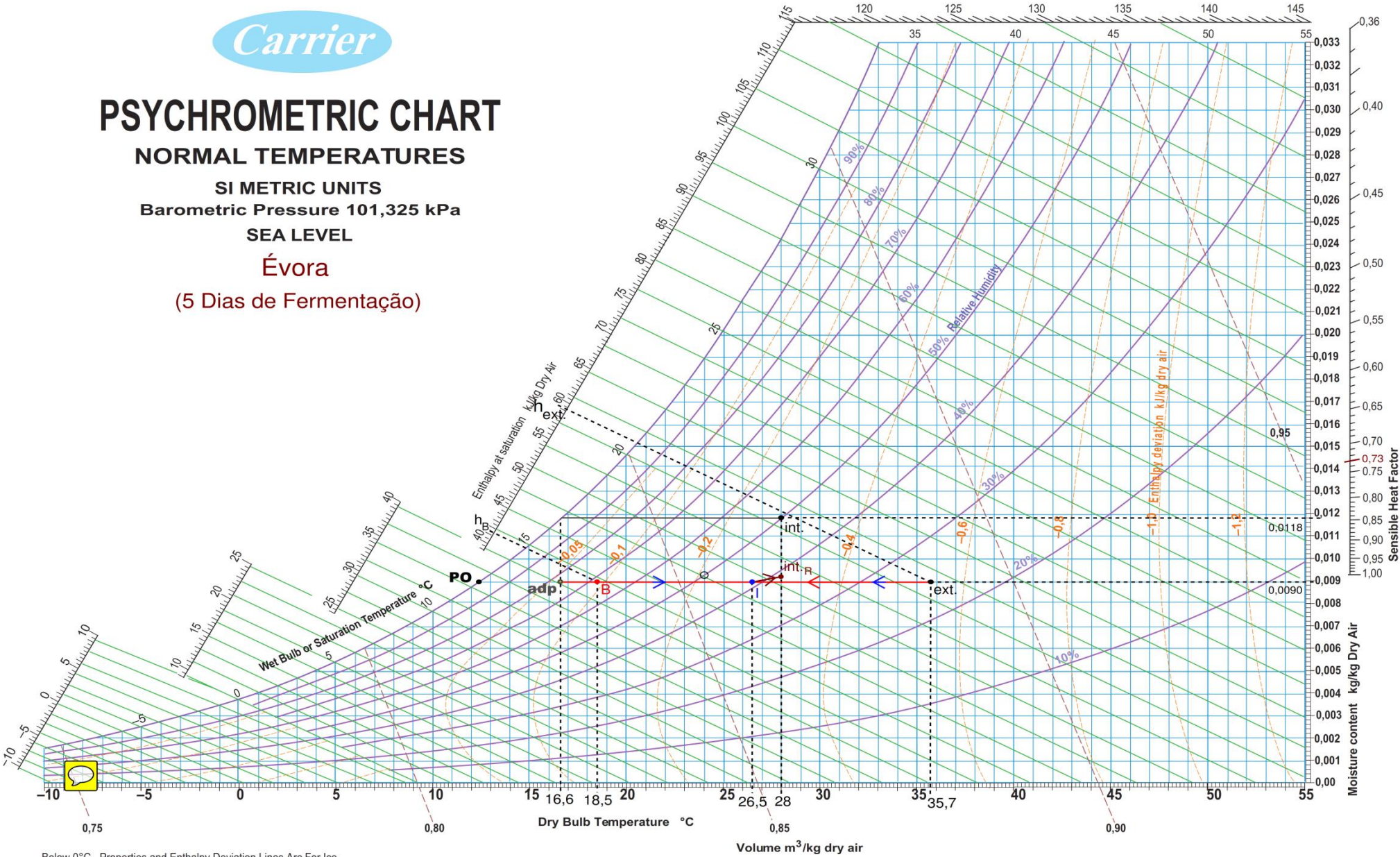
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

Évora

(5 Dias de Fermentação)



Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice





# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

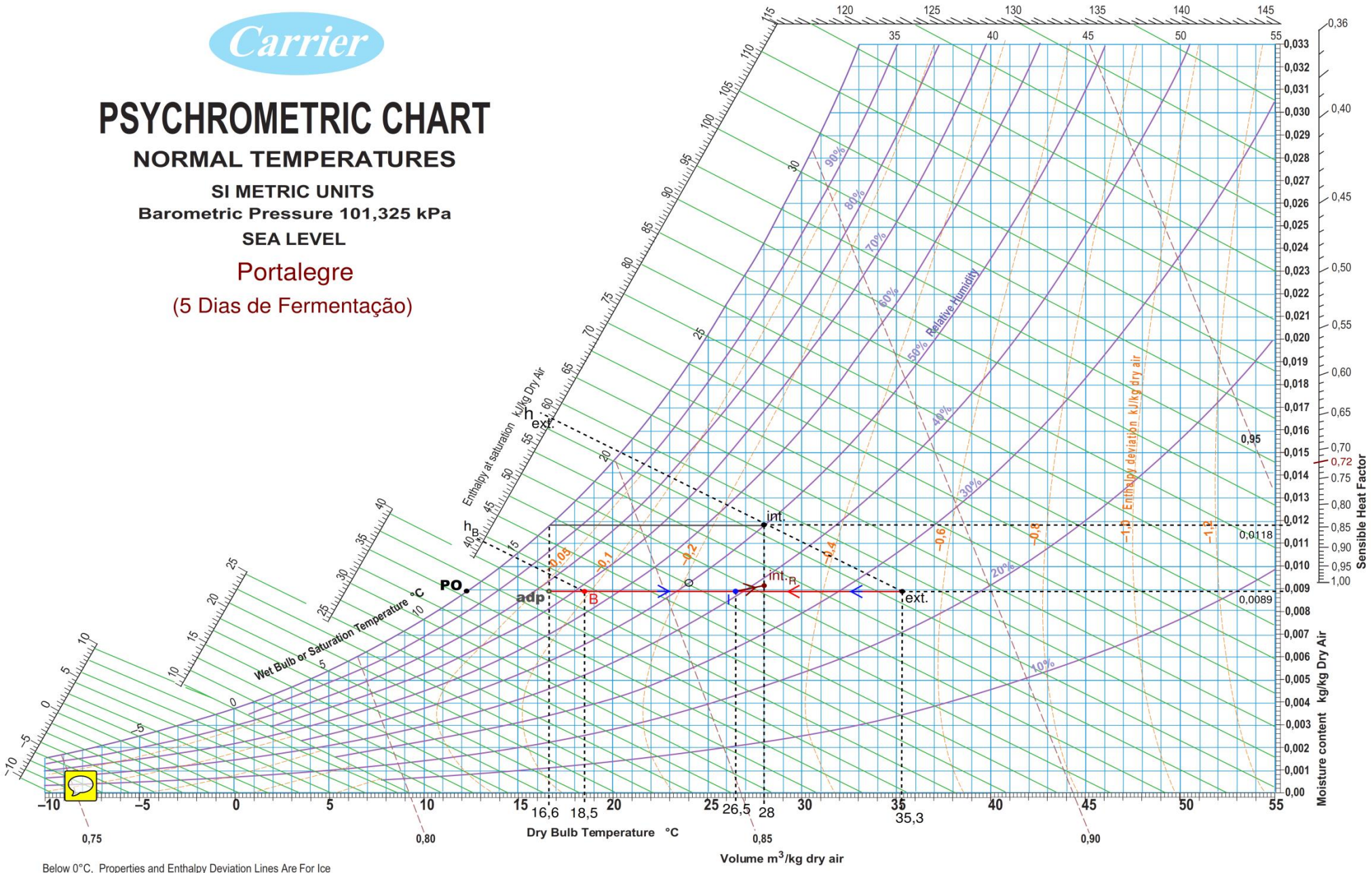
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

Portalegre

(5 Dias de Fermentação)



Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice





# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

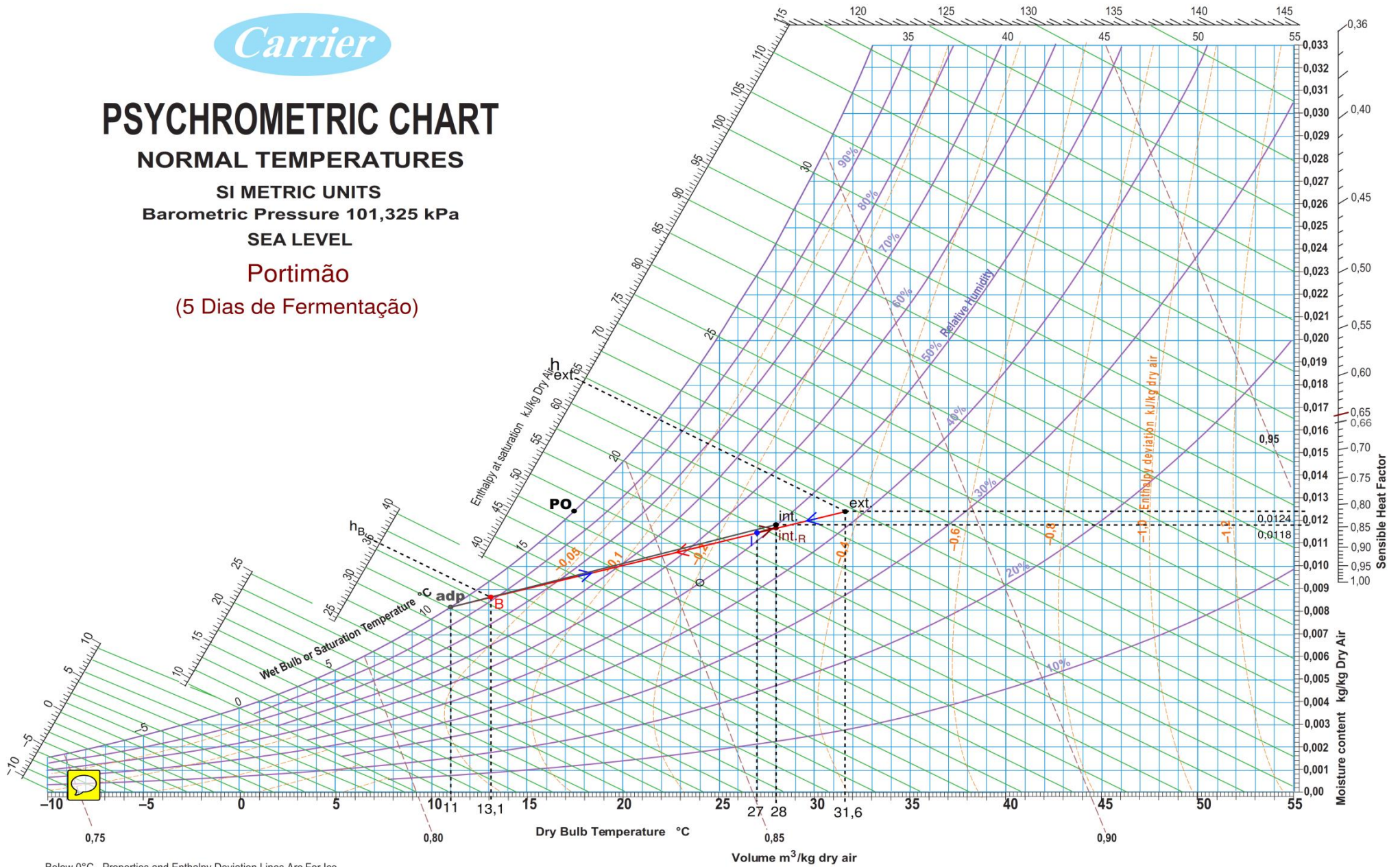
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

Portimão

(5 Dias de Fermentação)



Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice





# PSYCHROMETRIC CHART

NORMAL TEMPERATURES

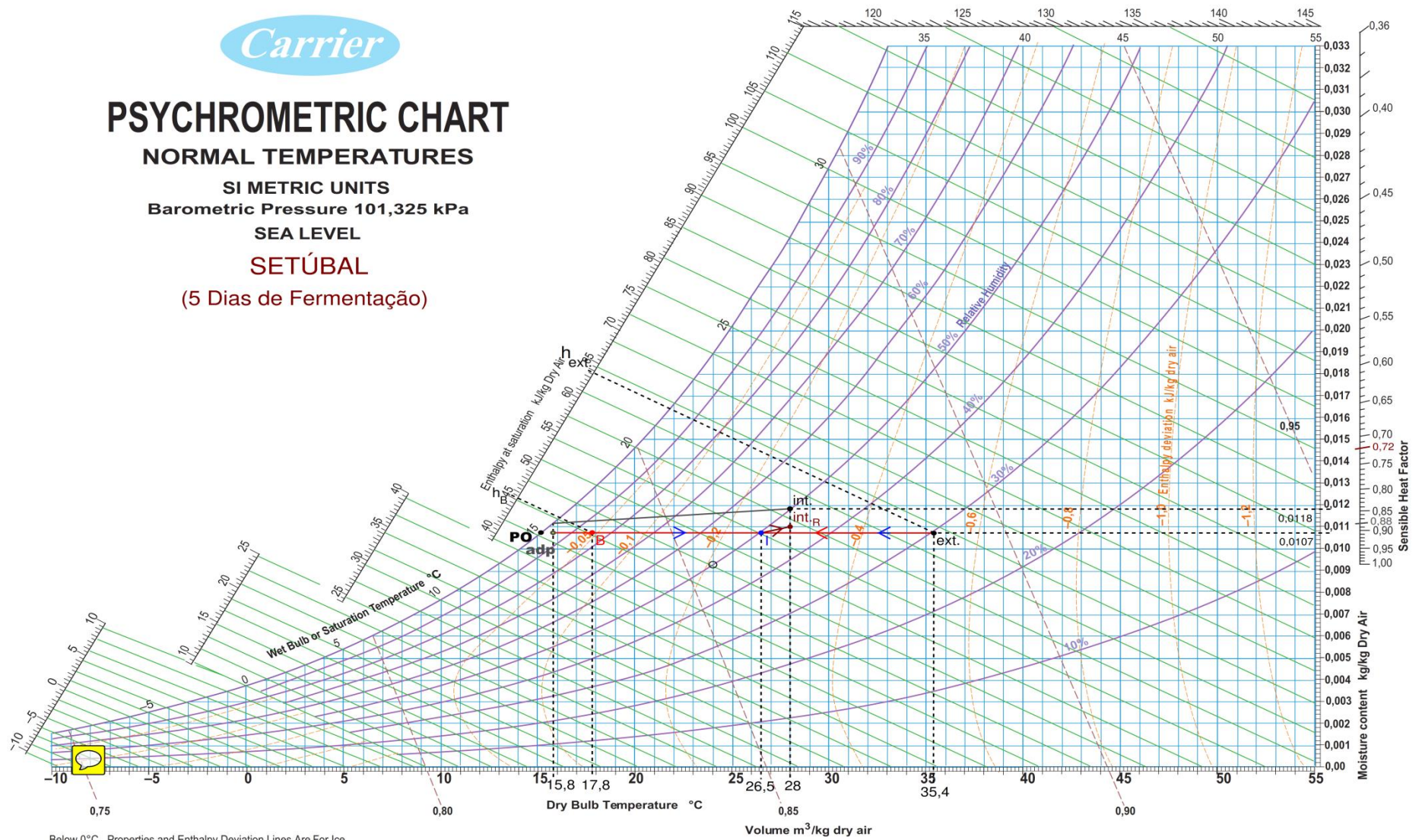
SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101,325 kPa

SEA LEVEL

SETÚBAL

(5 Dias de Fermentação)



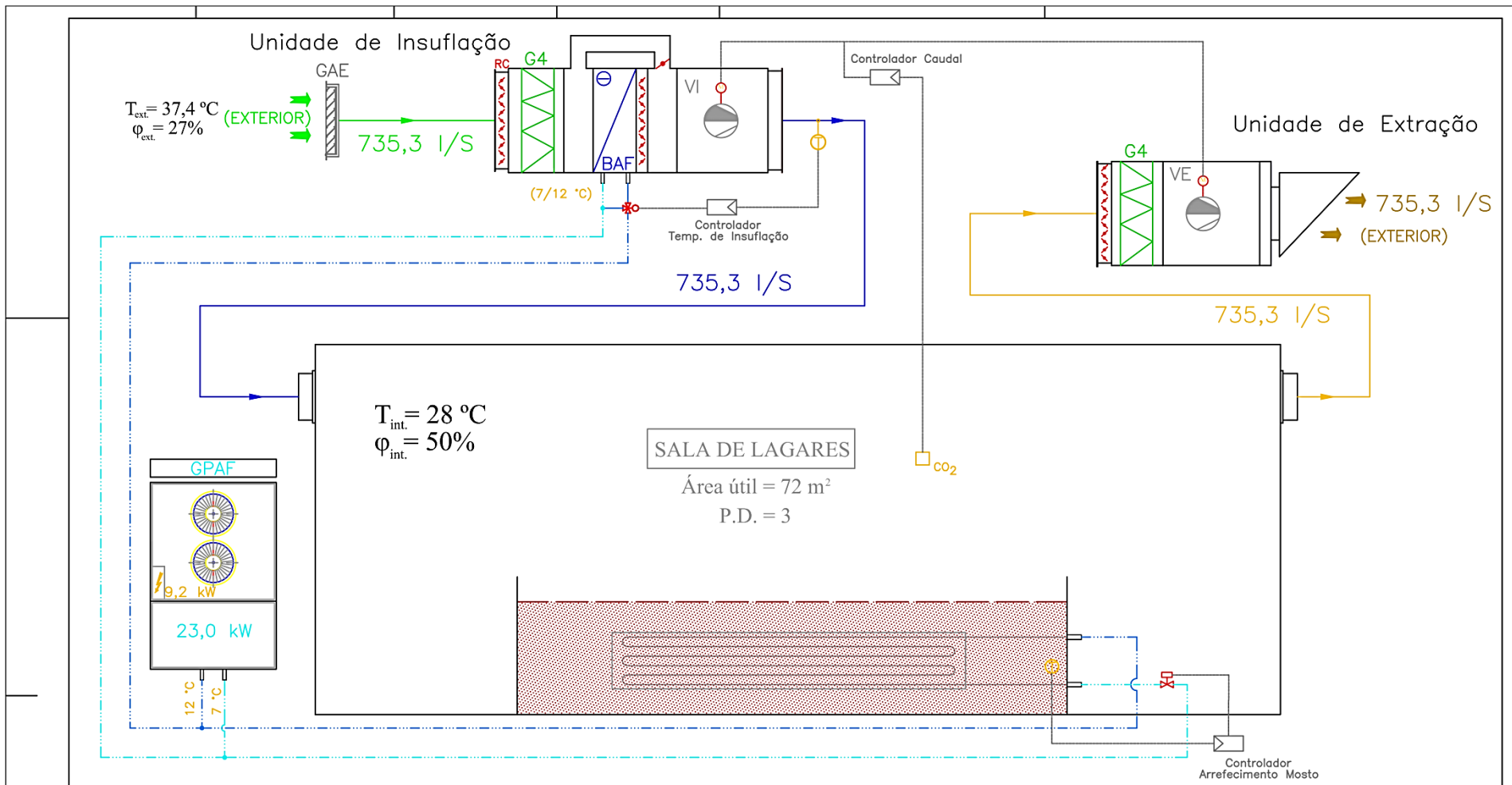
Below 0°C, Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice



## **Anexo L**

### **Esquema do Sistema de Climatização para a Zona de Lagares**





LEGENDA:

Simbologia	Abreviatura	Definição				
	AN	Ar Novo		-	GAE	Greilha Ar Exterior
	AI	Ar de Insuflação			-	Água Fria de Ida
	AR	Ar de Retorno			-	Água Fria de Retorno
	AE	Ar de Extração			GPAF	Grupo Produtor de Água Fria
	RC	Regulador de Caudal			BAF	Bateria de Água Fria
	-	Ventilador do tipo Plug Fan			-	Válvula de Zona
	VI	Ventilador de Insuflação			-	Válvula de 3 Vias
	VE	Ventilador de Extração			-	Controlador
	G4	Filtro Sintético G4			-	Sensor de Temperatura
	-	Sensor de Dióxido de Carbono			-	Sensor de Dióxido de Carbono

Engenharia:		Designação:	
		ESQUEMA DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO PARA A ZONA DE LAGARES	
Desenhado: Rúben Mena		Localização: SANTARÉM	
Data: abril de 2015	Substituído:	Fase do projecto: Dissertação	
Escala:	Substituído:	Desenho n.º: AVAC.001	
Orientador: Eng.º João Vinhas Frade		Escola: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa	

