



Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM NO FABRICO DE MALTE

Caso de estudo da Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, SA.

Ana Rita Marques Pinto

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Alimentar - Processamento de Alimentos

Orientador: Doutora Sara Maria Martins Beirão da Costa Teixeira de Barros

Co-orientador: Licenciado João Paulo de Sousa Reis Mendes

Júri:

Presidente - Doutora Margarida Gomes Moldão Martins, Professora Auxiliar com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais - Doutor Vítor Manuel Delgado Alves, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

- Doutora Sara Maria Martins Beirão da Costa Teixeira de Barros, Professora Auxiliar Convidada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

- Licenciado João Paulo de Sousa Reis Mendes, na qualidade de especialista;

- Licenciado Daniel Pedro Candeias Martins, na qualidade de especialista

Lisboa, 2013

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Eng^o Daniel Martins e ao Eng^o João Paulo Mendes pela possibilidade de realizar este trabalho na Sociedade Central de Cerveja. Foi uma experiência enriquecedora e um contributo especial para a minha formação.

Gostaria também de agradecer a todos os funcionários da malteria pela simpatia e pelo apoio prestado. Um obrigado especial ao Paulo Fernandes que foi uma ajuda fundamental para a realização deste trabalho. Agradeço ainda aos funcionários do laboratório da SCC.

Um agradecimento especial à Prof^a Sara Beirão pela orientação, pelo apoio, motivação, disponibilidade e pela forma simples com que me ajudou a ver as coisas.

Quero agradecer a todos os meu colegas e amigos que me acompanharam ao longo destes anos. Cada um contribuiu de forma única para a minha formação, não só académica, mas também pessoal. Agradeço em especial ao Sandro, Raquel e Miguelito pela amizade.

Um obrigado muito especial ao André, pelo apoio, paciência e pela motivação. Por ter mudado a minha vida e por tudo que tenho conseguido nos últimos anos.

Por último um obrigado muito, muito especial aos meus pais que são o meu suporte e sem eles, não chegaria onde cheguei. Obrigado por tudo!

.....e OBRIGADO a todos!!!

Resumo

No fabrico de cerveja, os grãos de cevada são previamente transformados em malte. Durante a maltagem, grande parte do consumo energético deve-se à etapa de secagem de malte. A fim de reduzir esse consumo foi estudada a hipótese de redução do tempo de secagem. Esta redução envolve a obtenção de malte com teor de humidade superior ao fabricado actualmente. Para o efeito, foi analisada a influência das temperaturas de secagem no teor de humidade e nas características do malte.

Foram realizados ensaios de secagem em que o malte foi submetido a diferentes programas de temperatura, resultando em diferentes teores de humidade. As características físico-químicas do malte foram relacionadas com o teor de humidade e com o programa de temperaturas. Foram ainda traçados os perfis de secagem nas estufas industriais de forma a estudar a viabilidade de encurtar a duração do processo.

Os resultados permitiram concluir que é possível aumentar a humidade do malte até 8%, uma vez que até este valor as características analisadas enquadram-se nos limites estabelecidos. Verificou-se não ser viável a redução do tempo de secagem pois a perda de humidade da camada de malte não é homogénea, existindo uma grande diferença até ao final do processo.

Palavras-chave: cevada, malte, maltagem, secagem, humidade

Abstract

In beer production, barley grains are previously converted into malt. During malting, the high energy cost is mainly due to the kilning stage. In order to reduce this consumption, the possibility of reducing the duration of kilning was studied. This reduction involves obtaining malt with an higher moisture content than what is actually produced. For this purpose, it was analyzed the influence of drying program in moisture content and in other characteristics of malt.

Drying assays was performed, wherein the malt was subjected to different temperature programs, which allowed obtaining malt with different moisture contents. Physical and chemical malt characteristics were analyzed and related to the moisture content and temperature program. Kilning profiles of the drying chambers were established in order to acess the possibility of reduce drying time.

The results suggest the possibility to increase the moisture content of malt up to 8% because up to this value, every characteristics analyzed are within the limits established. It isn't possible to reduce the kilning time since the moisture loss from malt sublayers are very heterogeneous and this moisture difference remains until the end of the process.

Key-words: Barley, malt, malting, kilning, moisture

Extended Abstract

For the brewing process, barley grains are previously modified by the process of malting. The aim is to improve their characteristics making them more suitable for the technological process and conferring organoleptic characteristics later attributed to beer. The malting process is divided into three main stages, steeping, germination and kilning. The kilning stage involves high energy consumption. In order to reduce it, this work focuses on time reduction of kilning stage. The experiments of this work were carried out in maltery of the Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, SA. This work consisted in analyzing the influence of drying program in moisture content and in other parameters of malt.

Drying assays was performed in micromalting laboratory, wherein the malt was subjected to different temperature programs. This allowed obtaining malt with different moisture contents. Physical and chemical malt characteristics (independent variables) were analyzed and related with temperature program (dependent variables). Each characteristic was adjusted to a statistical model and adapted with Response Surface Method. The characteristics analyzed were moisture, diastatic power, beta-glucans, DMS-p, wort viscosity, friability, PUG, WUG, and wort color. The results suggest the possibility to increase the moisture content of malt up to 8%. For this result the decisive parameters were DMS-p and viscosity values.

In another phase of the experimental work, the industrial kilning process was studied in order to access the possibility of reduce drying time. During the process, malt samples were taken every two hours and the moisture content was measured for the purpose of trace drying curves. Three curves were traced, corresponding to three malt layers. It allow to understand the moisture variability in the course of the drying process. As result, it is not possible to reduce the kilning time since the moisture loss from malt layers is not homogeneous.

In the final stage of the experimental work and after analysis of the kilning profiles, the three malt layers were analyzed with a view to ascertain if there is homogeneity in the physical and chemical characteristics of different malt layer, at the end of the process. However, at the end of kilning process, malt characteristics among different sublayers are similar.

Key-words: Barley, malt, malting, kilning, moisture

Índice

Resumo	II
Abstract.....	III
Extended Abstract	IV
LISTA DE QUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XI
I – Desenvolvimento Teórico	1
1. Introdução.....	2
2. A Cevada	3
2.1. Constituição morfológica do grão.....	4
2.2. Composição Química	5
2.2.1. Amido.....	6
2.2.2. Beta-glucanas.....	7
2.2.3. Proteínas	7
2.2.4. Enzimas	8
2.2.5. Água	8
2.3. Critérios de qualidade da cevada para maltar.....	9
3. O Malte e o Processo de Maltagem	9
3.1. Processo de Maltagem.....	10
3.1.1. Molha	10
3.1.2. Germinação	11
3.1.3. Secagem.....	12
3.1.4. Desradiculação.....	18
3.1.5. Armazenamento	18
3.1.6. Torra	18
3.1.7. Tipos de Malte	19
3.2. Avaliação da qualidade do malte	20
3.2.1. Humidade	22
3.2.2. Friabilidade	22
3.2.3. Poder Diastásico.....	22

3.2.4.	Extracto.....	23
3.2.5.	Teor de Azoto	23
3.2.6.	β -glucanas	23
3.2.7.	Viscosidade e Velocidade de Filtração do mosto.....	24
3.2.8.	Côr do Mosto	24
3.3.	Micromaltagem	24
4.	A Cerveja.....	25
4.1.	Processo de fabrico.....	26
4.1.1.	Moagem do Malte	26
4.1.2.	Brassagem.....	27
4.1.3.	Fermentação.....	28
4.1.4.	Maturação.....	28
4.1.5.	Filtração/Clarificação	28
4.1.6.	Embalamento.....	28
II–	Desenvolvimento Experimental.....	29
1.	Objectivos e Delineamento do Trabalho	30
2.	Caracterização do objecto de estudo.....	31
2.1.	Instalações da Malteria.....	31
2.2.	Processo de Secagem	33
2.3.	Especificações do Malte.....	34
3.	Material e Métodos	35
3.1.	Matéria-Prima	35
3.2.	Métodos	35
3.2.1.	Delineamento experimental.....	35
3.2.2.	Ensaio de Secagem na Micromaltagem	36
3.2.3.	Estabilidade	37
3.2.4.	Parâmetros analíticos	37
3.2.5.	Estudo do perfil de secagem nas estufas industriais	42
3.2.6.	Estudo das características físico-químicas da camada de malte	44
4.	Apresentação e discussão dos Resultados	44
4.1.	Influência das condições de secagem da micromaltagem.....	44

4.1.1.	Desradiculação/Moagem.....	44
4.1.2.	Humidade	45
4.1.3.	Poder diastásico	46
4.1.4.	Beta-Glucanas	47
4.1.5.	Viscosidade do Mosto	48
4.1.6.	DMS-p.....	49
4.1.7.	Cor	51
4.1.8.	Friabilidade	51
4.1.9.	Estabilidade	53
4.2.	Estudo do perfil de secagem nas estufas industriais	54
4.2.1.	Perfil de secagem da estufa 1	54
4.2.2.	Perfil de secagem da estufa 2	56
4.3.	Estudo das características físico-químicas da camada de malte	57
5.	Conclusões	58
	Referências bibliográficas	60
	ANEXOS.....	i

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. PRINCIPAIS CONSTITUÍNTES DA CEVADA	6
QUADRO 2. TEMPERATURAS DE INACTIVAÇÃO DE ALGUMAS ENZIMAS DO MALTE	15
QUADRO 3. VALORES DE REFERÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS DO MALTE ESTABELECIDOS PELA EBC.....	21
QUADRO 4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AUMENTO DE HUMIDADE DO MALTE	30
QUADRO 5. ESPECIFICAÇÕES DO MALTE ESTABELECIDAS PELA SCC.....	34
QUADRO 6. MATRIZ EXPERIMENTAL CODIFICADA E DESCODIFICADA PARA AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES	36
QUADRO 7. ANÁLISES EFECTUADAS AO MALTE E RESPECTIVOS MÉTODS ANALÍTICOS.....	38
QUADRO 8. RESULTADOS DOS ENSAIOS PRELIMINARES	44
QUADRO 9. RESULTADOS DA FRIABILIDADE DO MALTE ENQUADRADOS NO LIMITE DAS ESPECIFICAÇÕES.....	51
QUADRO 10. RESULTADOS DA FRIABILIDADE DO MALTE FORA DO LIMITE.....	52
QUADRO 11. VALORES OBTIDOS PARA OS WUG	52
QUADRO 12. VALORES OBTIDOS PARA OS PUG	53
QUADRO 13. CARACTERÍSTICAS DAS DIFERENTES CAMADAS DE MALTE NA ESTUFA 1	57
QUADRO 14. RESULTADOS DAS ANÁLISES EFECTUADAS AO MALTE SECO NA MICROMALTAGEM.....	II
QUADRO 15. VALORES DE HUMIDADE DO MALTE RECOLHIDO NA ESTUFA 1 DURANTE A SECAGEM	III
QUADRO 16. VALORES DE HUMIDADE DO MALTE RECOLHIDO NA ESTUFA 2 DURANTE A SECAGEM	V

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. CEVADA DISTICA E CEVADA HEXÁSTICA	4
FIGURA 2. ESTRUTURA DO GRÃO DE CEVADA.....	4
FIGURA 3. FÓRMULA ESTRUTURAL DA AMIOLOSE (A) E DA AMILOPECTINA (B)	7
FIGURA 4. DIAGRAMA DO PROCESSO DE MALTAGEM.....	10
FIGURA 5. GRÃO DE MALTE GERMINADO	12
FIGURA 6. TEMPERATURAS TÍPICAS DO AR DE ENTRADA E DE SAÍDA DA CAMADA DE MALTE	15
FIGURA 7. TORRADOR DE MALTE DA SCC.....	20
FIGURA 8. GERMINADORES DE MALTE DA MICROMALTAGEM DA SCC	25
FIGURA 9. TINA DE MOLHA E SECADOR DE MALTE DA MICROMALTAGEM DA SCC	25
FIGURA 10. DIAGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA	26
FIGURA 11. TANQUES DE MOLHA (SCC)	32
FIGURA 12. TANQUE DE GERMINAÇÃO (SCC)	32
FIGURA 13. ESTUFA DE SECAGEM (SCC)	32
FIGURA 14. PROGRAMA DE TEMPERATURAS DE SECAGEM DO MALTE PILSEN.....	33
FIGURA 15. MICROMALTAGEM - SECADOR DE MALTE (A). AMOSTRAS DE MALTE NO SECADOR (B)	36
FIGURA 16. MICROMALTAGEM - DESRADICULADOR DE MALTE (A). ELIMINAÇÃO DAS RADICULAS (B)	37
FIGURA 17. ESQUEMA DO AMOSTRADOR UTILIZADO NA RECOLHA DE AMOSTRAS DE MALTE	42
FIGURA 18. ESQUEMA REPRESENTATIVO DA ESTUFA 1	43
FIGURA 19. ESQUEMA REPRESENTATIVO DA ESTUFA 2	43
FIGURA 20. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA A VARIÁVEL HUMIDADE.....	45
FIGURA 21. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA A VARIÁVEL PODER DIASTÁSICO	46
FIGURA 22. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA A VARIÁVEL BETA-GLUCANAS	47

FIGURA 23. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA A VARIÁVEL VISCOSIDADE DO MOSTO.....	48
FIGURA 24. SUPERFÍCIE DE RESPOSTA PARA A VARIÁVEL DMS-P	49
FIGURA 25. DEFINIÇÃO DOS TEMPOS DE SECAGEM	50
FIGURA 26. PERFIL DE SECAGEM DA ESTUFA 1	54
FIGURA 27. PERFIL DE SECAGEM DA ESTUFA 2	56
FIGURA 28. PERFIL DE SECAGEM EM DIFERENTES PONTOS DA ESTUFA 1	IV
FIGURA 29. PERFIL DE SECAGEM EM DIFERENTES PONTOS DA ESTUFA 2	VI

LISTA DE ABREVIATURAS

DMS – Dimetil sulfureto

DMS-p – Precursor do dimetil sulfureto

EBC – European Brewing Convention

N-NDMA – Nitrosodimetilamina

SCC – Sociedade Central de Cervejas e Bebidas, SA.

SMM – S-metilmetionina

PUG – Grãos parcialmente modificados (Partially Unmodified Grains)

WUG – Grãos inteiros não modificados (Whole Unmodified Grains)

I – Desenvolvimento Teórico

1. Introdução

A Sociedade Central de Cervejas (SCC) é uma das maiores empresas produtoras de cerveja em Portugal. É nesta indústria cervejeira que se centra o presente trabalho, constituindo objecto de estudo a secção da malteria, local onde se transforma cevada em malte. O malte é a principal matéria prima para a produção de cerveja. Este é, não só utilizado no processo de fabrico de cerveja, como também constitui uma fonte de rendimento para a empresa, uma vez que grande parte é comercializada. Existe, por isso, uma preocupação em manter os seu nível de qualidade, pois é esta a principal matéria prima para a produção de cerveja e, portanto, terá grande influencia na sua qualidade final. O principal objectivo de uma empresa bem posicionada no mercado é continuar a satisfazer os consumidores, mantendo o nível de qualidade que faz dela uma empresa competitiva. A produtividade é um factor com grande influência na competição de uma empresa, no mercado em que está inserida. Associada à produtividade está um factor, não menos importante, a redução de custos de produção. A optimização de processos tecnológicos é um factor determinante na redução de custos, uma vez que é aqui que recai grande parte do investimento. Mas para alterar processos tecnológicos é obrigatório garantir que essa alteração não compromete a qualidade do produto final.

A cevada é o cereal mais utilizado na produção de cerveja, porém, não é possível utilizá-lo directamente no seu estado natural. De forma a obter as características necessárias à produção de cerveja, este cereal é submetido a um processo tecnológico que o modifica, passando a ser denominado por malte. A etapa de secagem de malte é uma etapa onde é consumida uma enorme quantidade de energia. A redução significativa do consumo energético nesta secção seria uma forma de reduzir custos, uma vez que aqui é gasta uma enorme quantidade de energia eléctrica que torna o processo dispendioso. Contudo, conseguir uma redução significativa obriga a uma alteração do processo tecnológico que poderá ter influencias negativas na qualidade do malte e posteriormente da cerveja, assim como nas etapas envolvidas na sua produção. Existe, portanto, interesse em compreender até que ponto, alterações na etapa de secagem de malte afectam o produto final, tal como o estabelecimento dos limites inerentes a essas alterações, de forma a obter um produto viável.

O objectivo principal deste trabalho é estudar a viabilidade de utilização de malte com teor de humidade elevado, como matéria prima para a produção de cerveja, bem como a sua capacidade de conservação. Assim, torna-se necessário conhecer, a nível laboratorial, as características do malte seco até níveis diferentes de humidade, bem como estudar o processo de secagem actual a nível industrial, de forma a avaliar a possibilidade da sua utilização no processo industrial. Em suma, este estudo baseia-se na viabilidade de laborar um malte com teor de humidade superior a 4,5% e, consequentemente, tentar reduzir os tempos de secagem, assim como os custos associados a este processo.

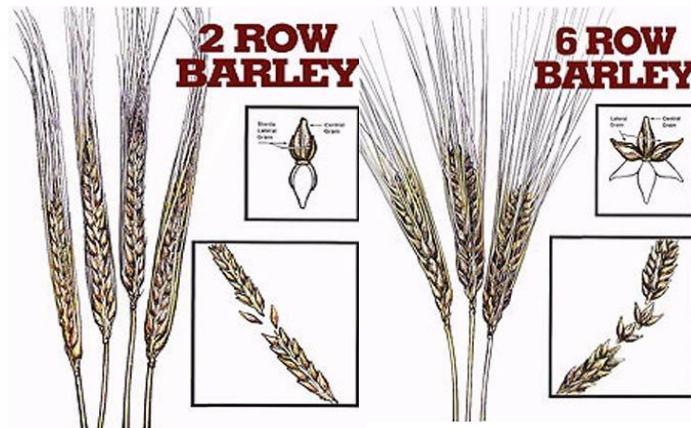
2. A Cevada

A cevada é um dos cereais mais conhecidos e mais utilizados em todo o mundo. Surgiu na Ásia e foi posteriormente levada para o resto do mundo, sendo hoje em dia utilizada na alimentação animal e humana, de diversas formas. É largamente utilizada na produção de cerveja e bebidas destiladas como o whisky (Kent, 1971). É o cereal mais adequado para a produção de malte e cerveja pois apresenta um elevado conteúdo de amido, uma elevada taxa de formação de enzimas, o teor adequado de proteínas, uma elevada resistência a doenças e contém a casca que funciona como protecção. Pertence à família das gramíneas, de onde podemos distinguir duas espécies importantes: cevada dística (*Hordeum distichon*) e cevada hexástica (*Hordeum vulgare*) (Hough, et al, 1971).

As várias espécies diferem consoante critérios fisiológicos e morfológicos. As cevadas dística e hexástica diferem no número de fileiras em que os grãos se dispõem ao longo da espiga, respectivamente, duas e seis fileiras (EBC, 2000). É comum diferenciá-las pela época do ano em que são cultivadas, constituindo as cevada de Inverno e as cevadas de primavera. As espécies de cevada de primavera são consideradas de qualidade para a produção de malte, uma vez que os grãos são mais desenvolvidos. Nesta época apenas se produz cevada dística. Na época de inverno são cultivadas cevadas hexásticas e dísticas (de Inverno), sendo estas espécies de qualidade inferior para o processo de maltagem (Malteurop, 2008-2012) (Eblinger & Narzib, 2012).

A cevada dística é constituída por duas fileiras de grãos, o que faz com que estes se disponham de forma simétrica e adquiram dimensões homogéneas. Estes grãos são de maiores dimensões, contêm um maior teor de amido, casca fina e menor teor de proteína. É, por isso, a espécie preferida para o processo de maltagem, na Europa. A cevada hexástica é constituída por seis fileiras, sendo que os grãos não se dispõem de forma simétrica. Por isso, este tipo de cevada produz grãos de menores dimensões e muito heterogéneas. Estes contêm maior poder enzimático, maior concentração de proteínas mas uma menor quantidade de amido (Goldammer, 2008). É considerada de qualidade inferior na Europa mas, segundo Goldammer, 2008 é muito utilizada na América para a produção de cerveja devido ao elevado teor em proteína e poder enzimático, o que torna mais adequado para poder adicionar outros cereais. A figura 1 mostra-nos as diferenças entre estas duas espécies de cevada (Eblinger & Narzib, 2012).

A cevada continua a ser o cereal melhor adaptado para o fabrico de malte e de cerveja, no entanto, é imprescindível uma selecção rigorosa da sua variedade. Uma boa cevada para maltar deve apresentar um teor proteico adequado ao processo, bom rendimento à calibragem, grãos limpos e sem doenças (Malteurop, 2008-2012).

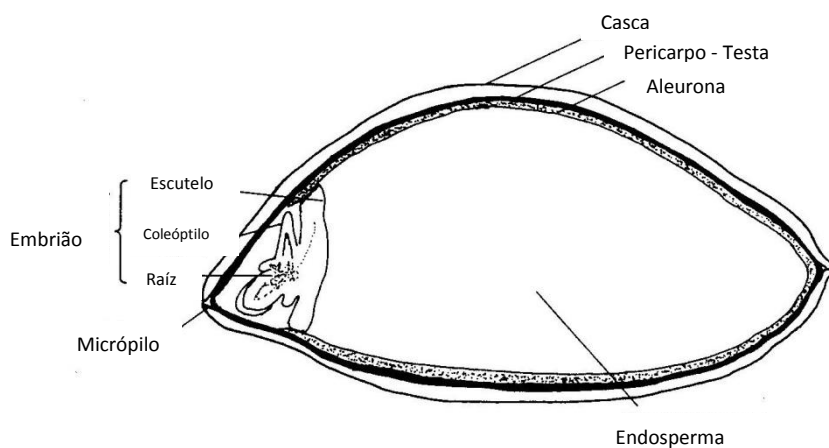


Fonte: (NSF Center for IPM, USA, 1999)

Figura 1. Cevada distica e cevada hexástica

2.1. Constituição morfológica do grão

O grão de cevada apresenta uma forma alongada e é constituído por uma camada exterior mais resistente, a casca. Contém ainda três camadas subsequentes, o pericarpo, a testa e a camada de aleurona, sendo esta última de grande importância para a produção de cerveja. A maior parte do grão é ocupada pelo endosperma, onde se encontram as substâncias de reserva da planta sendo que uma pequena parte é ocupada pelo embrião, onde residem as suas funções vitais (Briggs, 2002). Para uma melhor compreensão, a figura 2 apresenta a estrutura do grão de cevada.



Adaptado de: (Pollock, 1979)

Figura 2. Estrutura do grão de cevada

A casca é a camada mais externa, rígida e insolúvel que tem a função de proteger todo o grão de danos mecânicos (Briggs, 2002). É composta por celulose, polifenóis, sílica, pentosanas e beta-glucanas (Lewis & Young, 1995). Os compostos fenólicos (antocianinas, ácidos benzóicos, terpenos e flavonóides) contribuem para a sua rigidez (Lorenz & Kulp, 1991); (EBC, 2000). O pericarpo é essencialmente constituído por celulose e a Testa por aminoácidos, açúcares e lípidos. Formam uma camada semipermeável que impede a entrada de água no grão, a difusão de aminoácidos e outros nutrientes para o exterior e o acesso de alguns sais presentes em solução (Lorenz & Kulp, 1991; Lewis & Young, 1995; European Brewing Convention, 2000; Teixeira, 2005). Este conjunto de camadas protege o interior do grão de microrganismos que naturalmente se instalam nas fendas da casca (Briggs, 2002). A aleurona é uma camada de extrema importância que reveste o endosperma. É composta por enzimas, proteínas, lípidos, ácido fítico, beta-glucanas, pentosanas, celulose, vitamina B, açúcares e minerais. É rica em matérias azotadas e é daqui que provêm as enzimas hidrolíticas responsáveis pela degradação do amido (Hough, et al., 1971; Lewis & Young, 1995; European Brewing Convention, 2000; Briggs, 2002). Cerca de 70% da semente é ocupada pelo endosperma, local onde se encontram as suas reservas energéticas, nomeadamente o amido. Aqui reside a fonte de açúcares uma vez que este amido será degradado em estruturas mais simples. Os grânulos de amido são envolvidos por uma matriz proteica, encontrando-se aqui uma fracção considerável de proteínas (Lorenz & Kulp, 1991; Teixeira, 2005). O embrião ocupa cerca de 3% da semente e é esta estrutura a que regula o desenvolvimento do grão, sendo a partir daqui que se desenvolve a plúmula (futura folha) e as radículas, durante a germinação (Lorenz & Kulp, 1991; Briggs, 2002; Teixeira, 2005).

2.2. Composição Química

De entre os compostos químicos que constituem os grãos de cevada, é importante evidenciar os mais relevantes para o processo de produção de malte e cerveja e para o âmbito deste estudo. O quadro 1 indica a distribuição dos principais compostos químicos do grão, dos quais se destacam os mais relevantes no processo de produção de malte para cerveja.

Quadro 1. Principais constituintes da cevada

Adaptado de: (European Brewing Convention, 2000)

Casca	Camada de Aleurona	Endosperma	Embrião
Celulose Pentosanas Compostos fenólicos Sílica	Lípidos Açúcares Proteínas Fosfatos (ácido fítico) Enzimas Vitamina B Minerais Beta-glucanas pentosanas	Amido Proteínas Beta-glucanas, pentosanas	Lípidos Açúcares Proteínas Ácido giberélico Vitamina B Minerais (potássio e magnésio)

2.2.1. Amido

O amido é o composto mais abundante na cevada e o principal constituinte do endosperma. É um polissacárido complexo $(C_6H_{10}O_5)_n$ que é utilizado como substância de reserva pelo cereal. Apresenta uma estrutura granular semicristalina, envolvida por uma matriz proteica no endosperma (Lewis & Young, 1995). Os grânulos de amido são constituídos por macromoléculas de amilose e amilopectina (Radley, 1976). A amilose é formada por cadeias lineares de glucose onde estão presentes apenas ligações α -(1,4) (figura 3a) e assume uma conformação helicoidal (Cui, 2005). A amilopectina consiste em cadeias ramificadas onde se observam ligações α -(1,4) e α -(1,6) nos pontos de ramificação (Zimonja & Svihus, s.d.) (figura 3b). A cristalinidade dos grânulos é atribuída principalmente às moléculas de amilopectina uma vez que têm a capacidade de se organizar paralelamente, ligando-se por pontes de hidrogénio (Vieira, 2004). Esta organização forma uma estrutura ordenada e compacta, dando origem às regiões cristalinas. A amilose forma uma estrutura menos organizada, uma vez que a sua conformação em hélice dificulta a ligação regular com outras moléculas (Corradini, et al., 2005). As zonas amorfas dos grânulos contêm os pontos de ramificação da amilopectina e alguma amilose, constituindo uma estrutura menos ordenada, mais susceptíveis à degradação enzimática (Denardin & Silva, 2009). Diz-se que os grânulos de amido apresentam uma estrutura semicristalina uma vez que existe uma alternância entre regiões cristalinas e amorfas. As regiões cristalinas são responsáveis por manter a estrutura do grânulo de amido e controlar a sua resistência aos ataques enzimáticos. Apesar da fracção de amilopectina ter maior influência na cristalinidade dos grânulos de amido as regiões cristalina e amorfa são interdependentes, não existindo uma demarcação entre elas (Vieira, 2004). Os grãos de amido não são uma mistura pura de polissacáridos de glucose, contêm outros tipos de polissacáridos constituintes das paredes celulares (Hough, et al, 1971).

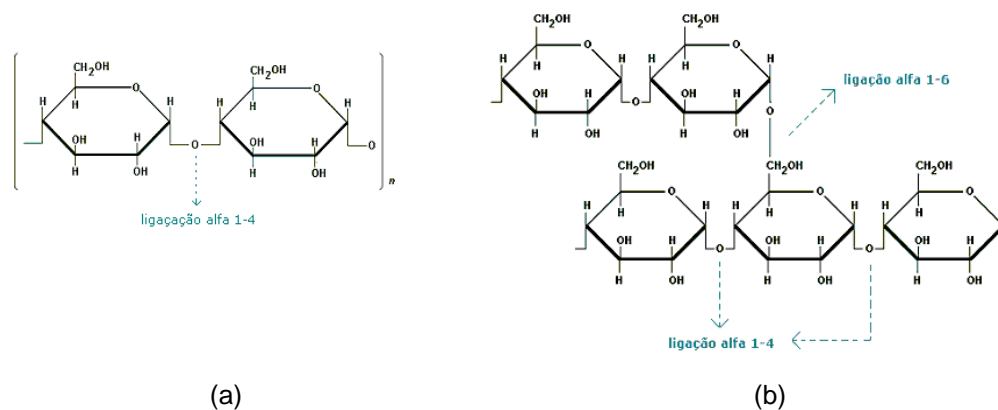


Figura 3. Fórmula estrutural da amilose (a) e da amilopectina (b)

Fonte: (Souza & Neves, s.d.)

2.2.2. Beta-glucanas

As β -glucanas são polissacáridos não amiláceos constituintes das paredes celulares do endosperma. Consistem em cadeias lineares de glicose unidas por ligações β -1,3 e β -1,4 (Charalambons, 1981; Lewis & Young, 1995; Cui, 2005). São compostos de elevado peso molecular que envolvem os grânulos de amido e proteínas resultantes da degradação das hemiceluloses e gomas (Wang & Zhang, 2010; Vis & Lorenz, 1997). Estas são estruturas complexas que apenas diferem no peso molecular e solubilidade: as hemiceluloses são insolúveis em água enquanto que as gomas se dissolvem em água quente (Hough, et al, 1971; Lewis & Young, 1995).

As β -glucanas não são desejáveis na cerveja uma vez que constituem estruturas complexas de elevado peso molecular: Sendo pouco solúveis em água, contribuem para uma elevada viscosidade do mosto produzido durante o processamento, dificultando a sua filtração. Uma redução no teor de β -glucanas é essencial para conseguir um malte friável e um mosto com baixa viscosidade (EBC, 2000; Wang & Zhang, 2010).

2.2.3. Proteínas

As proteínas consistem em longas cadeias de aminoácidos ligados por ligações peptídicas (Hough, et al, 1971). Têm um papel importante na produção de cerveja pois, ao serem degradadas pelas enzimas proteolíticas (proteases) produzem aminoácidos livres e péptidos (conjunto de 2 ou 3 aminoácidos) que servem de alimento à levedura durante a fermentação do mosto (Broadbent & Palmer, 2001). Contribuem para as características sensoriais da cerveja como o sabor e a cõr e para o seu valor nutricional (Silva, et al, 2008; Lewis & Young, 1995). Têm a capacidade de interagir com compostos fenólicos contribuindo para a formação de espuma e estabilidade coloidal da cerveja. A quantidade total de proteína na cevada é um factor crucial para a qualidade final da cerveja. Considera-se que os grãos de cevada têm a quantidade adequada de proteína para o processo de

maltagem. Esta quantidade representa 8-15% do grão consoante a variedade, no entanto, para a maltagem, este teor não deve ultrapassar os 12%, uma vez que teores mais elevados prejudicam e prolongam o processo e a qualidade final da cerveja, podendo precipitar (Hough, et al, 1971; Lewis & Young, 1995; Dai, et al, 2007). As hordeínas (proteínas insolúveis) são as mais abundantes nos grãos, que contêm ainda albuminas, gluteninas, enzimas e outras proteínas com funções desconhecidas (Silva, et al, 2008). Ao teor de proteínas está associado o teor de compostos azotados. O interesse destes compostos reside no facto de estar associado à quantidade de extracto produzido. Quanto maior o seu teor, menor é o teor de amido e consequentemente, menor será quantidade de extracto e de açúcares formados (Hough, et al, 1971), o que constitui uma influência negativa no processo (Kent, 1971).

2.2.4. Enzimas

As enzimas são moléculas de natureza proteica sendo a sua função catalisar reacções químicas que, sem a sua presença dificilmente ocorrem. Portanto, são constituintes imprescindíveis na maltagem, uma vez que sem elas não seria possível degradar o amido. As enzimas mais importantes para a produção de malte e cerveja são a α -amilase, a β -amilase e as β -glucanases (Lewis & Young, 1995). Estas enzimas convertem os polímeros do endosperma em moléculas de baixo peso molecular necessárias à fermentação do mosto (Mousia, et al, 2004). A maioria das enzimas actua ou é sintetizada na fase de germinação do grão. O grão de cevada já contém uma proporção de enzimas das quais se destaca a β -amilase. A α -amilase apenas se forma durante a germinação. Estas enzimas são responsáveis pela degradação do amido. As β -glucanases (endo e exo- β -glucanases), são responsáveis pela hidrólise das β -glucanas. Existem, no entanto, outras enzimas que não serão aqui abordadas (Findlay, 1971).

2.2.5. Água

O teor de humidade dos grãos é um factor importante não só para a vitalidade do embrião, mas também para a sua conservação. Este teor varia entre 10 a 16%, dependendo da variedade e da época em que são cultivadas (Lorenz & Kulp, 1991). O armazenamento dos grãos é considerado seguro quando o teor de humidade se situa abaixo dos 12%. Acima deste valor é necessário serem submetido a uma secagem prévia para reduzir o risco de contaminação por fungos, evitar alterações químicas indesejáveis e garantir a viabilidade do grão (EBC, 2011). Depois de secos é essencial serem mantidos em condições controladas uma vez que absorvem facilmente humidade.

2.3. Critérios de qualidade da cevada para maltar

A cevada destinada à produção de malte deve apresentar características específicas. A sua qualidade é condicionada pelas propriedades físicas, químicas e microbiológicas do grão. Estes serão sempre sujeitos a uma avaliação prévia que determina a sua aptidão para maltar, as condições de maltagem e a relação qualidade/preço. Os aspectos a considerar são os seguintes (Kent, 1971; Frias, 1992; Teixeira, 2005):

- Calibre uniforme a superior a 2,5 mm
- Forma arredondada
- Casca fina e enrugada
- Cor amarela clara
- Ausência de microrganismos
- Energia germinativa superior a 95%
- Boa capacidade de absorção de água
- Germinação rápida e uniforme
- Máximo rendimento em malte
- Desagregação uniforme e superior a 80%
- Elevada actividade proteolítica e citolítica
- Proteína total inferior a 1,92% m.s.
- Teor de β -glucanas inferior a 225 ppm

3. O Malte e o Processo de Maltagem

Apesar de ser o cereal mais adequado para a produção de cerveja, por si só, os grãos de cevada não tem disponíveis os compostos essenciais ao fabrico de cerveja nem características físicas adequadas à sua moagem (Lewis & Young, 1995). É, por isso, necessário modificá-los de forma a facilitar o seu processamento e obter um produto final de qualidade. Entende-se por malte os grãos de cevada modificados a nível físico e químico, por meio de um processo tecnológico controlado, a maltagem. O seu principal objectivo é a produção e activação de enzimas. Essas enzimas são necessárias para a transformação do amido insolúvel em substrato solúvel, facilmente digerido pelas leveduras, e para a solubilização de proteínas, aumentando a disponibilidade de aminoácidos, também importantes no processo (Lewis & Young, 1995; EBC, 2000). Outros objectivos da maltagem são modificar o grão fisicamente aumentando a sua friabilidade e conferir cor ao malte. A maltagem envolve alterações nas características físicas e químicas dos grãos de cevada para que no final se obtenha grãos de malte com propriedades muito diferentes da cevada.

3.1. Processo de Maltagem

A maltagem é o processo de transformação da cevada em malte. Este processo engloba três etapas fundamentais, a molha, a germinação e a secagem (figura 4). A molha, é a etapa onde os grãos vão absorver água suficiente de forma a iniciar o processo de germinação. Durante a fase de germinação os grãos vão desenvolver-se até atingirem o conteúdo enzimático necessário para modificar a estrutura do endosperma. Por fim, na etapa de secagem, a água será removida de forma a interromper a germinação e manter as características obtidas.

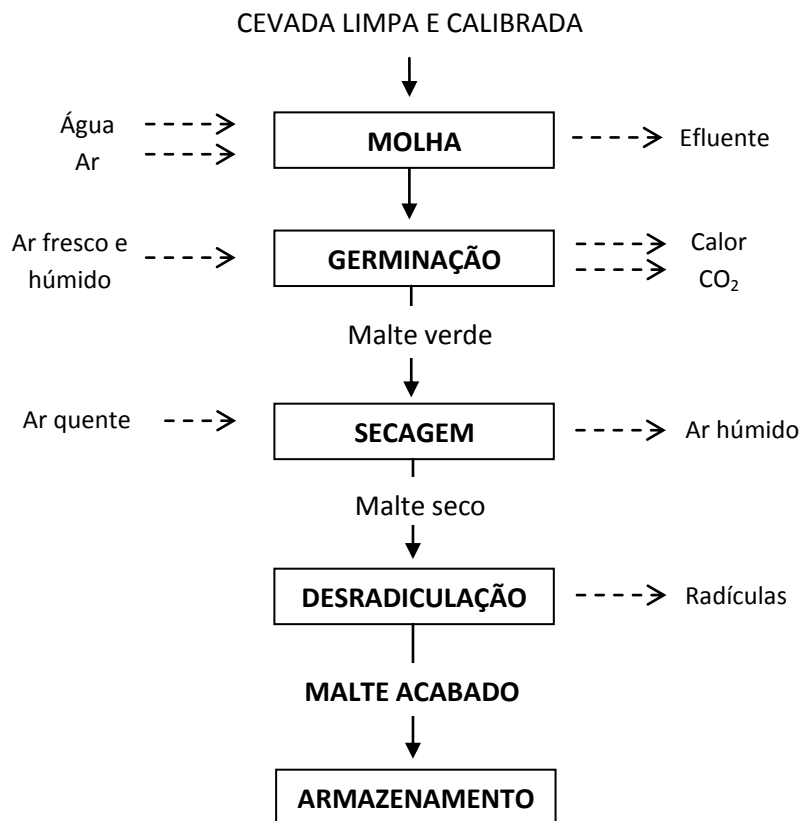


Figura 4. Diagrama do processo de maltagem

Adaptado de: (European Brewing Convention, 2000)

3.1.1. Molha

A molha é a primeira fase do processo de maltagem. É a etapa de preparação das sementes onde são fornecidas condições para estas germinarem. A casca dos grãos reduz a taxa de absorção de água, mas esta absorção é essencial à germinação. Nos tanques de molha, os grãos de cevada são submersos em água e aqui permanecem até atingirem um teor de humidade correspondente a

um aumento de cerca de um quarto do seu volume (Hough, et al, 1971). O teor de humidade deve aumentar até aos 42 - 46% de humidade (Lewis & Young, 1995).

Durante este processo a água é absorvida através da zona do embrião e começa a amaciar os tecidos internos. É activado o metabolismo do embrião dormente e a camada de aleurona activa o seu sistema enzimático que começa a degradar moléculas específicas. Dá-se a solubilização e desagregação do endosperma, diminuindo a sua rigidez. O início da germinação é visível pelo aparecimento da radícula como um rebento que corresponde ao momento em que o grão começa a respirar intensamente (Silva, et al, 2008) . O tempo de molha depende da variedade da cevada, do seu calibre, sensibilidade à água, temperatura e do processo de molha utilizado (Cabral & Cordeiro, 2004). É essencial que o grão não permaneça o tempo todo imerso. São necessários períodos a seco, em que a água é drenada, para que o grão obtenha o oxigénio necessário para respirar e não metabolizar as suas reservas anaerobiamente, no entanto, há que ter em atenção ao excesso de oxigénio para que este não provoque uma germinação precoce. Os períodos a seco são também importantes para evitar um excesso de humidade no interior do grão. Esta etapa tem ainda uma função de limpeza dos grãos, uma vez que as impurezas presentes no grão são eliminadas pela água (Gruber, 2001).

3.1.2. Germinação

Uma vez conseguidas as condições de humidade desejadas segue-se a fase de germinação dos grãos que teve início no tanque de molha. Ao longo desta fase, a activação e síntese de enzimas responsáveis pela hidrólise da matriz proteica e das paredes celulares do endosperma permite eliminar a barreira física que separa as enzimas amilolíticas do amido. Assim, é facilitado o acesso ao amido que será hidrolisado em açúcares posteriormente consumidos pelo embrião. As modificações enzimáticas iniciam-se na zona do embrião e vão progredindo ao longo do grão. A água começa por dissolver uma substância produzida pelo embrião, o ácido giberélico (hormona vegetal), que é transportada até á camada de aleurona e induz a síntese da enzima α -amilase (Lewis & Young, 1995; Briggs, 2002). Na figura 7 encontra-se esquematizada a formação destes compostos no grão de cevada, ao longo da sua germinação. Esta síntese é efectuada a partir dos aminoácidos resultantes da hidrólise das proteínas presentes na camada de aleurona. A α -amilase é produzida no endosperma onde, juntamente com a β -amilase, irá catalisar a hidrólise do amido. As cadeias longas do amido são quebradas em cadeias mais curtas e açúcares (Cabral & Cordeiro, 2004). Estes açúcares são transportados para o embrião e funcionam como fonte energética para o crescimento da plúmula (futura folha) e da radícula. Para além disso, a degradação das paredes celulares resulta numa perda de resistência que irá tornar o grão mais friável, e que facilitará posteriormente a sua moagem. Nesta fase são ainda activadas proteases e β -glucanases, enzimas que irão degradar as proteínas e as β -glucanas que envolvem os grânulos de amido. A completa modificação dos grãos engloba a total desagregação das β -glucanas, da matriz proteica e dos grânulos de amido (Parker & Proudlove, 1995; Lewis & Young, 1995).

O final desta fase é determinado pelo grau de germinação dos grãos, controlado por uma avaliação a nível visual e táctil. A plúmula e a radícula são indicadores visuais que definem o momento de paragem da germinação. A plúmula desenvolve-se por baixo da casca e para uma boa desagregação o seu comprimento deve situar-se próximo de $\frac{3}{4}$ do comprimento do grão, a radícula pode atingir até duas vezes o comprimento do grão (EBC, 2000). A nível do tacto é possível avaliar o grau de desagregação dos grãos (Cabral & Cordeiro, 2004).

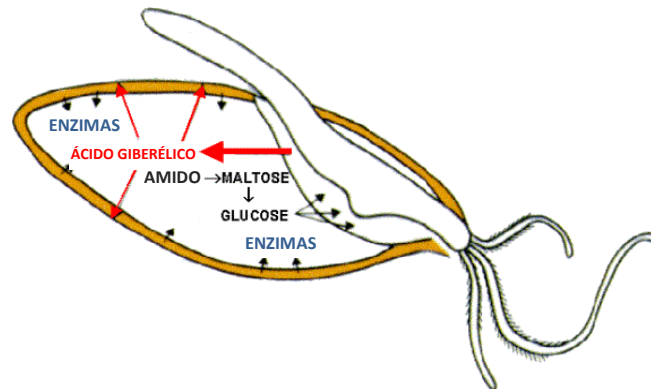


Figura 5. Grão de malte germinado

Adaptado de: (Carlsberg, 1999)

Esta etapa é realizada em caixas de germinação de grande dimensões onde os grãos são submetidos a condições de temperatura, humidade e arejamento controladas e onde permanecem durante 4 a 5 dias, tempo que levam a atingir um bom nível de alteração (Gruber, 2001). A temperatura deve situar-se entre 15 e 22°C, deve ser proporcionada uma ventilação adequada para garantir a respiração dos grãos e evitar um nível de humidade elevado (EBC, 2000). Estas condições devem ser proporcionadas de forma homogénea, sendo por isso necessário voltar os grãos de cevada ao longo desta etapa, com o objectivo de eliminar o dióxido de carbono resultante da respiração, homogeneizar as temperaturas e o enraizamento das radículas. Isto é possível por meio de um volteador instalado nas caixas de germinação que consiste em grandes parafusos sem-fim que remexe toda a camada. No final, é obtido o malte verde que possui as enzimas e o nível de desagregação do endosperma desejados e que se encontra com um teor de humidade de 40 a 44%, momento este em que deve ser interrompida a germinação.

3.1.3. Secagem

A secagem de malte é a etapa final do processo de maltagem e é, portanto a fase em que o malte se prepara para ser utilizado como matéria prima. É por isso, uma etapa onde se definem parâmetros importantes para a obtenção de um produto final com as características e qualidade desejada. O objectivo principal é interromper as reacções bioquímicas no grão e fixar as suas características (Warpala & Pandiella, 2000). É mais do que um simples processo de secagem em que

estão envolvidas reacções importantes e em que os níveis de microflora são drasticamente reduzidos de modo a aumentar o tempo de armazenamento do malte (Prior, 1996). A humidade do malte verde é reduzida de cerca de 45% até 4-5%. A secagem do malte vai provocar os seguintes efeitos (EBC, 2011; Cabral & Cordeiro, 2004):

- Cessar o crescimento da plântula e travar a modificação do malte
- Inactivar o sistema enzimático e preservar as enzimas
- Reduzir o teor de humidade de forma a obter um malte estável
- Desenvolver e estabilizar características do aroma
- Remover aromas indesejáveis
- Secar as radículas de forma a facilitar a sua remoção

A dificuldade do processo está em secar o malte até um teor de humidade seguro sem danificar o sistema enzimático (Hoseney, 1986). A um elevado teor de humidade, algumas enzimas são sensíveis ao calor, então, para proteger as enzimas o malte deve ser aquecido cuidadosamente, aumentando a sua temperatura de forma gradual (Lewis & Young, 1995). Apenas para baixos teores de humidade é conveniente aumentar a temperatura de forma a produzir o aroma e “flavour” característicos. No geral terá que se efectuar uma escolha entre a actividade enzimática e o “flavour” do malte a produzir: para conseguir um malte com uma elevada actividade enzimática obtém-se um produto com baixo “flavour” e para conseguir um malte com características de “flavour” acentuadas será obtida uma baixa actividade enzimática (Hoseney, 1986). A solubilidade das proteínas é geralmente afectada da mesma forma que a actividade enzimática.

A definição das condições de secagem baseia-se em dois parâmetros, a velocidade e a temperatura do ar que entra no secador e atravessa toda a camada de malte. Este ar aquecido vai remover a água do malte. A figura 6 representa as temperaturas típicas aplicadas ao longo do processo. Em termos gerais é possível definir duas fases distintas (Lewis & Young, 1995; EBC, 2000):

- **“Free drying phase” ou secagem a taxa constante:** Numa fase inicial e durante as primeiras 12 horas a humidade do malte é reduzida até aos 12%. Esta fase pode ser designada por secagem livre (free drying) ou fase de taxa constante (constant rate) uma vez que a redução de humidade do malte é constante. Nesta fase, a água que se encontra na superfícies dos grãos (água livre) é removida pelo fluxo de ar aquecido que se faz passar através da camada de malte. Esta água é transferida do grão para o ar e a sua remoção depende do velocidade de ar. Quando o ar atravessa a camada de malte, sai completamente saturado e sofre uma quebra na temperatura. Esta quebra é constante ao longo desta fase e deve-se à absorção de humidade. Indica que a energia foi absorvida pela água líquida transformando-a em vapor de água.

Num sistema em que a camada de malte permanece estática, isto é, na ausência de um sistema de volteadores, a camada de malte vai sofrendo uma perda de humidade ao longo de “subcamadas” em que a secagem vai evoluindo ao longo de toda a camada de malte secando primeiro a “subcamada” inferior e assim progredindo até secar a “subcamada” superior. Este progresso na perda de humidade demora cerca de 12 horas, sendo a camada inferior mais rápida a secar. As “subcamadas” subsequentes encontram-se expostas ao ar saturado, favorecendo a

germinação dos grãos, que continua enquanto a temperatura se situar abaixo dos 50°C e a humidade acima dos 40%. As “subcamadas” anteriores encontram-se mais secas e atingem primeiro a fase seguinte, ou seja, existe uma heterogeneidade de teores de humidade em toda a camada de malte. Quando a última “subcamada” é seca, a temperatura do ar que sai da camada de malte sofre um aumento e a sua humidade diminui drasticamente. É neste momento que atingimos o denominado “break-point”, que indica que todo o malte se encontra na segunda fase de secagem. Este momento constitui um ponto crucial de controlo do processo (Lewis & Young, 1995; EBC, 2000).

- **“Falling rate”**: A segunda fase é designada de “falling rate” e caracteriza-se por uma taxa de secagem mais lenta em que a humidade é reduzida de 12% para 4%. Durante esta fase a taxa de secagem decresce com o tempo. Esta fase envolve uma remoção da água retida no interior do grão por forças capilares. A taxa de secagem depende da difusão das moléculas de água do interior para a superfície do grão. Esta mobilidade depende da temperatura e da quantidade de água contida no grão. O fluxo de ar é ainda necessário para remover o vapor de água da estufa, mas deixa de ser um parâmetro de controlo. Após o break-point o ar que sai do malte já não sai saturado. A sua velocidade pode ser reduzida e a sua temperatura aumentada (Lewis & Young, 1995). Nesta fase pode ser aplicada a recirculação de ar como forma de economia de energia, pois não vai comprometer as especificações do produto final (EBC, 2000).

Na fase final do processo o malte é submetido a temperaturas entre os 80-85°C durante 1 a 2 horas, é o chamado “golpe de fogo”. Esta fase é importante pois a temperatura e a duração a que o malte é submetido provoca uma série de alterações bioquímicas, nomeadamente, a redução do pH devido à presença de enxofre, solubilização de polifenóis e antocianinas e as proteínas tornam-se menos solúveis. O “golpe de fogo” promove ainda a produção da cor e aroma do malte e ocorrem reacções de Maillard que originam melanoidinas (compostos corados). Quanto mais elevada for a temperatura de secagem, mais escuro e aromático será o malte. Durante o “golpe de fogo” ocorre ainda uma reacção de grande importância, a degradação da S-Metil Metionina (SMM) ou também chamada precursor de DMS, formando o DMS (Dimetil Sulfureto), composto volátil indesejado na cerveja devido ao seu aroma desagradável (EBC, 2000; Cabral & Cordeiro, 2004).

Em termos tecnológicos, as estufas são normalmente circulares ou rectangulares. Devem ser cheias até que a camada de malte atinja 1 metro de altura. É importante que a resistência do fluxo de ar, ao atravessar a camada de malte, seja homogénea em toda a camada e que não haja saídas preferenciais de ar que ponham em causa a secagem (Prior, 1996). Após este processo o malte permanece na estufa para arrefecimento e de seguida segue para os silos onde é armazenado. A figura 6 mostra-nos o programa típico de temperaturas de secagem para o malte pilsen.

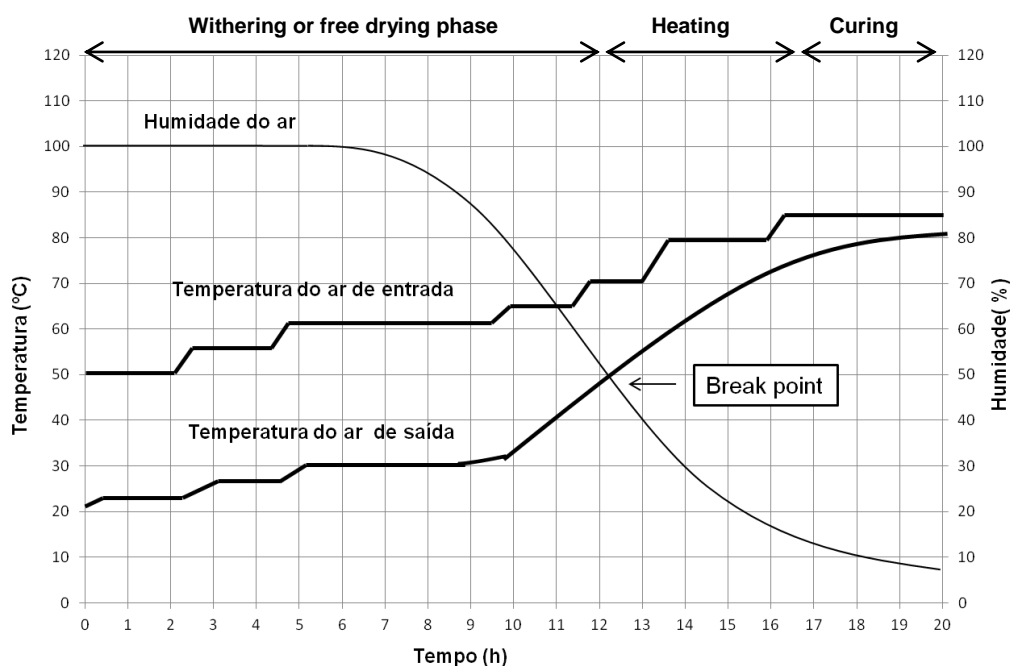


Figura 6. Temperaturas típicas do ar de entrada e de saída da camada de malte

Adaptado de: (European Brewing Convention, 2000)

3.1.3.1. Enzimas

O ciclo da secagem deve garantir que a maior perda de humidade ocorra a temperaturas mais baixas possível uma vez que, à medida que a temperatura aumenta e a humidade diminui, mais enzimas vão sendo destruídas. A actividade enzimática continua enquanto a temperatura permanecer abaixo dos 60°C e a humidade acima dos 30%. A presença de enzimas hidrolíticas no processo de secagem depende das suas temperaturas de inactivação (EBC, 2000). O quadro 2 indica as temperaturas a que algumas enzimas do malte são inactivadas durante a secagem.

Quadro 2. Temperaturas de inactivação de algumas enzimas do malte

Adptado de: (European Brewing Convention, 2000)

Enzimas	Temperatura Letal
α -amilase	Superior a 80°C
β -amilase	65 - 70°C
β -glucanase	55 - 60°C
β -glucana solubilase	70°C
Grupo das peptidases	55°C

A enzima mais estável é a α -amilase, sendo que a sua actividade aumenta durante a secagem. A β -amilase é muito sensível e a sua perda durante a secagem é cerca de 40%. A mais sensível é a β -glucanase sendo 50% do seu teor destruído durante este processo (EBC, 2000). No final da secagem temos um maior teor em α -amilase e algumas peptidases e um teor mais baixo de β -amilases e β -glucanases. A quantidade de enzimas presentes no malte acabado depende, não só da temperatura sensível das enzimas, mas também do seu teor inicial no malte verde, do programa de temperatura, humidade, circulação de ar e duração do processo, da profundidade da camada de malte, do design da estufa e do teor de enxofre que é destruído na estufa (EBC, 2000).

3.1.3.2. DMS (Dimetil Sulfureto)

O Dimetil Sulfureto (DMS) é um composto sulfurado que transmite aroma e sabor desagradável na cerveja, considerado como defeito. O seu principal precursor é o S-metilmetionina (SMM), também designada por DMS-precursor, que se encontra presente no malte e é formado pela degradação das proteínas (Zhao, et al, 2006). Na fase de secagem, em que as temperaturas são mais elevadas, o DMS-p é convertido em DMS livre, que sendo um composto volátil, evapora. Uma vez que esta conversão não é completa, uma fracção de DMS-p vai permanecer nos grãos de malte. Numa fase posterior à maltagem, será eliminada uma parte considerável do DMS remanescente, contudo, a secagem tem um papel preponderante nos teores finais de DMS no malte, pois este diminui continuamente com o aumento da temperatura. Factores, tais como, baixa velocidade do ar, profunda camada de malte, temperatura na fase de “free drying” inferior a 50°C e temperatura do “golpe de fogo” abaixo de 65°C, no decorrer da secagem, promovem a formação de DMS. Aproximadamente 1/3 do DMS está concentrado nas radículas, que são removidas após a secagem. Sendo um composto volátil, o objectivo é que durante o processamento do malte seja promovida a conversão do DMS-p em DMS para que este evapore e seja eliminado. Esta é uma especificação do malte que é analisada durante a sua avaliação (EBC, 2000).

3.1.3.3. N-NDMA (N- Nitrosodimetilamina)

O NDMA é um composto prejudicial à saúde, que se pode encontrar no malte e em bebidas maltadas. É uma substância carcinogénica que se forma durante o processo de secagem devido ao contacto do malte com os gases de combustão (óxidos de azoto). Estes gases reagem com determinadas proteínas, nomeadamente, a hordenina (formada durante a germinação) que se encontra em grande parte nas radículas (VLB, 2006). Com o aumento da temperatura na secagem forma-se o DMA (dimetilamina) que ao reagir com os compostos azotados forma o NDMA (Sole & Ryburgh, 2005). Esta substância encontra-se maioritariamente nas radículas e na superfície do malte e constitui um problema a eliminar (EBC, 2000). Uma forma de reduzir a concentração de NDMA é a inibição do crescimento das radículas durante a germinação e a sua remoção após o processo de secagem. A formação deste composto pode ser evitada através da remoção ou redução da

concentração dos óxidos de azoto provenientes da combustão. Uma forma de o conseguir é impedir o contacto directo do ar de secagem com a fonte de combustão, isto é, aquecendo o ar indirectamente de forma a evitar o seu contacto com os gases de combustão (EBC, 2000).

3.1.3.4. Aroma

Como ja foi referido, na fase de secagem são desenvolvidos compostos responsáveis pelo aroma característico do malte. Nesta fase, a gama de temperaturas responsável pelo desenvolvimento do aroma situa-se entre os 80-85°C, durante o “golpe de fogo”, que proporciona aromas doces e suaves. Aromas mais intensos são desenvolvidos numa possível fase posterior à secagem, a torrefacção. Tal como o DMS, existem outros compostos indesejáveis, como o caso dos aldeídos, que têm comportamentos diferentes e provocam o envelhecimento do malte (EBC, 2000).

3.1.3.5. Côr

O desenvolvimento da côr deve-se à reacção entre os aminoácidos e os açúcares, favorecida a temperaturas elevadas. São denominadas reacções de Maillard e resultam na formação de melanóidinas. Depende, portanto, da quantidade de azoto solúvel e aminoácidos formados e da temperatura aplicada (EBC, 2000). Uma secagem mais intensa provoca uma cor mais escura no malte. A formação da côr define o tipo de malte que se quer produzir, assunto que será abordado nos subcapítulos 3.1.6 e 3.1.7.

A secagem é uma etapa com bastante influência na qualidade final do malte. Os efeitos desejados no malte, no decorrer deste processo são os seguintes:

- Aumento do poder diastásico
- Aumento do teor de α -amilase
- Baixa viscosidade do mosto
- Baixo teor de β -glucanas
- Elevada friabilidade
- Baixo teor de humidade
- Redução do NDMA
- Baixo teor de DMS-p

3.1.4. Desradiculação

Após a secagem, é necessário que as radículas sejam removidas, uma vez que prejudicam as características da cerveja pois contêm um elevado teor de compostos azotados e fenólicos para além serem higroscópicas. Transmitem um sabor amargo e adstringente à cerveja (Cabral & Cordeiro, 2004; Cervesia, 2003-2012). Este processo é efectuado num tambor rotativo que separa as radículas de forma a serem removidas.

3.1.5. Armazenamento

O armazenamento do malte acabado é um passo imprescindível uma vez que o malte recém processado não deve ser utilizado de imediato. Este iria produzir um mosto turvo, de difícil filtração e fermentação devido à sua rigidez. Durante o armazenamento, ocorre uma leve hidratação da estrutura do malte que facilita a sua moagem (Cervesia, 2003-2012). Dentro dos silos, o malte vai estabilizar e atingir um equilíbrio em termos de humidade. Nesta fase o malte deve ser mantido em atmosfera e temperatura adequada, para que não ocorra uma hidratação excessiva, um consequente crescimento microbiano e degradação do grão, que levam à perda de qualidade do malte. Em condições de armazenamento adequadas é possível conservar o malte durante vários meses até ser utilizado.

Os microrganismos que põem em causa o armazenamento dos grãos são os fungos. Estes sobrevivem a baixos teores de humidade, mas poucas espécies atacam os grãos armazenados. Estas são principalmente algumas espécies de *Aspergillus*, *Fusarium* e eventualmente *Penicillium* pois estão adaptados a níveis reduzidos de humidade (Hoseney, 1986). São exemplos de toxinas presentes no malte as ocratoxina, tricotecenos e citrinina, respectivamente produzidas pelos fungos *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* (EBC, 2000)

3.1.6. Torra

A Torra é uma etapa extremamente importante para a definição do tipo de malte pois a sua finalidade é acentuar a sua cor e aroma que define cada tipo de malte. É realizada num torrador, onde os grãos de malte são submetidos a temperaturas elevadas que conduzem a reacções não-enzimáticas entre os açúcares e os aminoácidos, conhecidas como reacções de Maillard, responsáveis pelo escurecimento e por características sensoriais específicas.

3.1.7. Tipos de Malte

Os diferentes tipos de malte são a base das inúmeras especialidades de cerveja existentes. Estes maltes são conseguidos pela aplicação de diferentes tratamentos térmicos que podem ser aplicadas durante a própria fase de secagem ou numa etapa facultativa posterior à secagem, a torra. Consoante o processo de produção, os maltes podem ser classificados em três grupos, “maltes de côr”, maltes caramelo e maltes torrados (Coghe, et al., 2005). A sua obtenção pode ser efectuada e dividida nas seguintes categorias (Gruber, 2001):

- Malte Seco
- Malte Torrado
- Malte Verde Torrado

As propriedades obtidas para cada tipo de malte têm influência na côr e no aroma, que posteriormente vão permitir a produção de cervejas com características sensoriais distintas. Essas características são definidas pela combinações de diferentes maltes tal como a proporção em que são utilizados (Coghe, et al, 2005). Cada malte é único, e permite a obtenção de cervejas com características muito diferentes, desde a côr, aroma, sabor, corpo e actividade antioxidante, características estas que provêm do próprio malte.

- **Malte Seco**

Este tipo de malte é produzido durante a etapa de secagem sendo o mais claro de todos os maltes. É designado por malte Pilsen e constitui o malte base de todas as cervejas fornecendo açúcares fermentescíveis. As temperaturas de secagem desenvolvem aromas e sabores subtis no malte – pouco aroma a maltado. Este aroma é produzido durante a aplicação de temperaturas mais elevadas. Produz uma cerveja de côr clara (Gruber, 2001).

- **Malte Torrado**

Os maltes secos são submetidos ao processo de torra após a etapa de secagem. De acordo com as características desejadas (cor e aroma), diferentes temperaturas podem ser aplicadas durante a torra, podendo atingir os 230°C (EBC, 2000). Este processo dá origem a maltes mais escuros, como o malte Carafa, que é utilizado na produção de cervejas pretas (Cabral & Cordeiro, 2004). Os maltes escuros têm a vantagem de melhorar a estabilidade da espuma e atribuir corpo à cerveja. Têm ainda um maior tempo de prateleira devido à presença de antioxidantes. Por outro lado, a adição de maltes escuros afecta a capacidade de fermentação do mosto uma vez que as reacções de Maillard que envolvem os açúcares diminuem a sua disponibilidade. Apesar do malte base fornecer substâncias que equilibram essa falta, este tipo de malte deve ser adicionado em pequenas quantidades (Coghe, et al, 2005).

- **Malte Verde Torrado**

Neste processo o malte verde, após a germinação, é directamente conduzido ao torrador, onde é submetido ao processo de torrefacção, sem passar pela secagem propriamente dita. Este malte entra para o torrador com um teor de humidade de cerca de 40%. Distingue-se do malte pilsen pela vitreosidade do endosperma que comporta uma maior quantidade de componentes não fermentescíveis, e por isso contribui para o corpo da cerveja. Constituem os chamados maltes Caramelo. Este tipo de malte é extremamente aromático e doce (Gruber, 2001; Cabral & Cordeiro, 2004)



Figura 7. Torrador de malte da SCC

O malte Pilsen funciona como base pois ocupa uma grande percentagem na quantidade total de grãos e é aqui que reside o poder enzimático. Os restantes tipos de malte possuem menor actividade enzimática e por isso são adicionados em menores proporções contribuindo apenas para as características sensoriais da cerveja (Cervesia, 2003 - 2012).

3.2. Avaliação da qualidade do malte

A produção de malte tem como finalidade a obtenção de um produto com características específicas que definem sua qualidade e a sua aptidão para a produção de cerveja. Por isso, é importante que este seja controlado e analisado em laboratório (Lewis & Young, 1995). Cabe aos produtores de malte a tarefa de conseguir atingir os parâmetros exigidos, de forma a evitar problemas no posterior processamento e na comercialização do produto (Seward, 1992). Para definir a qualidade do malte é necessário ter em conta a qualidade da cevada e o processo de maltagem a que esta foi submetida.

O conjunto de especificações do malte é de enorme importância para os produtores de cerveja pois definem as características do mesmo. A avaliação da qualidade do malte baseia-se no resultado de análises laboratoriais efectuadas (Aastrup, et al., 1991). A European Brewig Convention

(EBC) é uma entidade europeia que tem desenvolvido e padronizado métodos analíticos utilizados em laboratórios de indústrias cervejeiras e malterias. Estes métodos abrangem todo o processo de produção de cerveja, incluindo o malte. Os actuais valores padrão das análises efectuadas ao malte segundo os métodos EBC, referentes à sua qualidade, foram revistos no mês de Novembro de 2011 e encontram-se no quadro 3.

Quadro 3. Valores de referência de alguns parâmetros do malte estabelecidos pela EBC

Adaptado de: (European Brewery Convention, 2011)

PARÂMETROS	Método EBC	Valor de Referência	Tolerância (+/-)
Humidade (%)	4.2	4,3	0,23
Azoto Total (% dm)	4.3.1	1,70	0,039
Friabilidade (%)	4.15	88,5	1,17
Grãos Inteiros Não-modificados (WUG) (%)	4.15	0,4	0,34
Grãos Parcialmente Não-modificados (PUG) (%)	4.15	1,0	0,85
Modificação (%)	4.14	94	4,8
Poder-Diastásico (WK/dm)	4.12	304	30,9
β -Glucanas (mg/l) (fluorimetria)	8.13.2	178	53,9
Viscosidade do Mosto (mPa.s)	4.8	1,49	0,034
Côr do Mosto Visual (EBC units)	4.7.2	3,2	0,42
Extracto (% dm)	4.5.1	81,8	0,47

3.2.1. Humidade

O teor de humidade é um parâmetro de grande importância pois determina o tempo seguro de armazenamento do malte sem que se desenvolvam microrganismos prejudiciais (fungos). Além disso, um elevado teor de humidade revela uma menor intensidade de secagem e menor formação de compostos corados e aromáticos. O valor adequado situa-se entre os 4 e os 5% de humidade sendo este um valor seguro para armazenar o malte por um tempo superior a 6 meses. Uma vez obtido, o malte é armazenado em silos, onde permanece até ser utilizado. A temperatura dos silos deve ser mantida de forma a evitar condensações de água e consequentemente desenvolvimento de microrganismos.

3.2.2. Friabilidade

A friabilidade indica a capacidade do malte se desintegrar quando sujeito ao processo de moagem. É uma medida da modificação física dos grãos de cevada durante a maltagem. É considerado um parâmetro importante na qualidade do malte uma vez que uma reduzida modificação física origina problemas na moagem, no rendimento da brassagem, na libertação do extracto e na filtração do mosto (Seward, 1992). Este parâmetro está relacionado com o grau de modificação do amido e degradação das β -glucanas durante a maltagem. Associado à friabilidade está a fracção de grãos modificados e não modificados após a maltagem. Uma maior friabilidade significa uma maior percentagem de grãos modificados. São considerados grãos não modificados aqueles que se encontram inteiros ou cujo tamanho é superior a $\frac{3}{4}$ do grão (Analytica-EBC). A fracção não modificada dos grãos é mais dificilmente degradada do que a fracção modificada, uma vez que as suas propriedades físicas dificultam a acção enzimática. As regiões amorfas são mais acessíveis às enzimas do que as regiões cristalinas. Para além disso, estas duas fracções têm diferentes temperaturas de gelatinização do amido, o que influencia a sua solubilização e susceptibilidade à hidrólise enzimática (Warpala & Pandiella, 2000).

3.2.3. Poder Diastásico

O poder diastásico é um parâmetro que expressa a quantidade de enzimas produzidas e activadas durante a maltagem, que irão actuar na conversão do amido durante a brassagem, nomeadamente, a α -amilase e β -amilase. São estas enzimas que vão degradar o amido transformando-o em açúcares fermentescíveis (Findlay, 1971). É um parâmetro de extrema importância que revela a eficiência do processo de maltagem. O grau em que o amido é digerido depende da quantidade de enzimas produzidas, da quantidade de amido, do nível de temperatura atingido, da termolabilidade das enzimas e da temperatura de gelatinização do amido (Radley, 1976). A β -amilase é vista como a enzima com o maior contributo para o poder diastásico (Gibson, et al, 1995; Erdal, et al, 1993).

3.2.4. Extracto

O extracto consiste na quantidade de açúcares fermentescíveis e aminoácidos presentes no mosto prontos para serem consumidos pelas leveduras. Este teor de açúcares resulta da degradação do amido pela acção enzimática (Hoseney, 1986). Na produção de cerveja, durante a etapa de brassagem, o amido é degradado ao máximo pela acção das α e β -amilases, sendo convertido em dextrinas, maltose e finalmente em unidades simples de açúcar (glucose). Durante a fermentação do mosto, as leveduras consomem a glucose convertendo-a em álcool, sendo por isso que o teor de açúcares está directamente relacionado com a produção de álcool (Hough, et al, 1971). Do ponto de vista tecnológico e económico o conteúdo em açúcares fermentescíveis e proteínas são parâmetros cruciais tanto na qualidade da cerveja como nos custos de produção (Szwajgier, 2011) e reflectem a acção enzimática.

3.2.5. Teor de Azoto

O teor de azoto é importante para o metabolismo da levedura durante a fermentação do mosto. Está relacionado com a degradação das proteínas e formação de aminoácidos durante a maltagem (Lewis & Young, 1995). Uma reduzida modificação proteica pode afectar a formação de espuma e as características do flavour (Seward, 1992), mas elevados teores de proteína podem provocar turvação na cerveja. Este parâmetro é ainda um indicador da modificação enzimática na maltagem sendo que quanto mais elevado, maior é o grau de modificação do malte. O azoto solúvel deve aumentar durante a maltagem. O azoto α -amino fornece os teores de aminoácidos e compostos azotados aminados existentes no malte importantes para o metabolismo da levedura (EBC, 2000).

3.2.6. β -glucanas

As β -glucanas são um dos principais polissacáridos não amiláceos do malte. As β -glucanas de elevado peso molecular formam uma solução viscosa em água (Lewis & Young, 1995) e, conseqüentemente, contribuem para a viscosidade do mosto causando problemas na sua filtração. São, por isso, compostos prejudiciais ao processo. Contribuem ainda para a turvação da cerveja uma vez que podem permanecer até ao final do processo (Findlay, 1971; Szwajgier, 2011). A maltagem centra-se nos parâmetros que reduzem o teor de β -glucanas, nomeadamente a activação das enzimas β -glucanases. Esta enzima desenvolve-se lentamente durante a maltagem sendo necessário um intensivo processo de maltagem. Um valor elevado de β -glucanas revela uma maltagem insuficiente originando baixos teores de conversão de amido, é portanto, um dos parâmetros mais importantes na qualidade do malte. Segundo o EBC, o teor de β -glucanas deve ser reduzido em 90% durante a maltagem. A redução das β -glucanas é essencial para conseguir uma rápida ebulição e filtração do mosto, uma vez que influencia com a sua viscosidade (Gupta, et al, 2010; EBC, 2000).

3.2.7. Viscosidade e Velocidade de Filtração do mosto

A viscosidade do mosto deve-se, em grande parte, ao teor de β -glucanas de elevado peso molecular que permanece no malte após a maltagem. Estes compostos são pouco solúveis em água e formam soluções viscosas (Cui, 2005) Por isso, é conveniente que, durante a maltagem, ocorra uma elevada quebra das β -glucanas, pela acção das enzimas β -glucanases. As β -glucanas remanescentes serão libertadas durante a brassagem e irão contribuir para uma elevada viscosidade do mosto produzido, dificultando a sua posterior filtração (Gump, 1993; Lewis & Young, 1995; Steiner, et al, 2011). Uma vez que as β -glucanas constituem as paredes celulares do endosperma, podemos associar a sua destruição à degradação do amido e conseqüentemente à modificação do malte (Cook, 1962; Frias, 1992). Também a quantidade de proteína solúvel, que formam compostos de estrutura gelatinosa, e uma degradação incompleta do amido são factores que influenciam a viscosidade do mosto (Vidal, 1993; Gupta, et al, 2010).

3.2.8. Côr do Mosto

A cor do mosto está relacionada com a cor do malte. Este factor depende da intensidade da secagem. Uma secagem mais intensa provoca uma cor mais escura no malte devido à reacções de Maillard (Findlay, 1971; Lewis & Young, 1995). Um mosto mais escuro geralmente revela um menor nível de açúcares fermentescíveis e de aminoácidos o que contribui para uma menor quantidade de extracto conseguido (Coghe, et al, 2005).

3.3. Micromaltagem

A micromaltagem consiste numa reprodução do processo de maltagem a uma escala reduzida. É uma ferramenta fundamental (escala laboratorial) utilizada para efectuar a avaliação da cevada e determinar a sua aptidão para o processo de maltagem antes da introdução à escala industrial (Silva, et al, 2008). As instalações da Micromaltagem compreendem equipamentos que recriam o processo de maltagem, nomeadamente, tinas de molha, germinadores e uma estufa de secagem. As figuras 8 e 9 são exemplos de equipamentos utilizados num laboratório de micromaltagem.



Figura 8. Germinadores de malte da micromaltagem da SCC



Figura 9. Tina de molha e secador de malte da micromaltagem da SCC

4. A Cerveja

A cerveja é a bebida alcoólica, não destilada, obtida a partir da fermentação alcoólica dos açúcares do malte mediante leveduras seleccionadas. É uma bebida de baixo teor alcoólico e elevado valor nutritivo, consumida em todo o mundo. A sua composição engloba proteínas, aminoácidos, hidratos de carbono, sais minerais e vitaminas. Pode ser classificada quanto à sua côm, teor alcoólico, proporção de malte e tipo de fermentação. As matéria primas típicas utilizadas na sua produção são a água, malte, lúpulo (planta aromática), levedura e cereais não maltados. A fórmula para a sua produção poderá variar dando origem aos inúmeros tipos de cerveja existentes no mercado mundial, variando os ingredientes e as suas quantidades (Carvalho, 2007; Eblinger & Narzib, 2012).

4.1. Processo de fabrico

O processo de fabrico de cerveja é constituído por várias etapas, cada uma com funções específicas e com grande influência na qualidade do produto final. O malte, tal como a água, são aqui utilizados em grande escala. As etapas constituintes deste processo são ilustradas na figura 10.

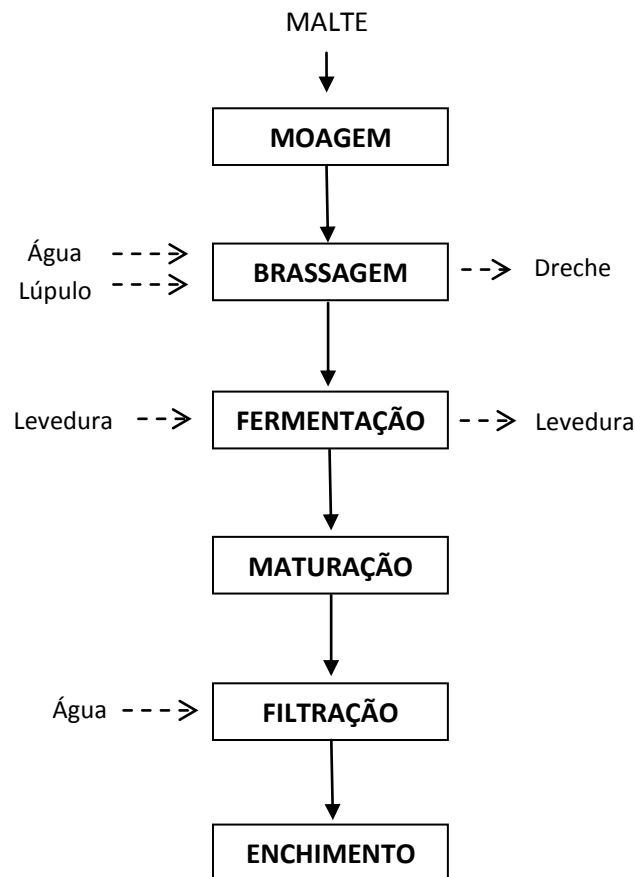


Figura 10. Diagrama do processo de produção de cerveja

Adaptado de: (Eblinger & Narzib, 2012)

4.1.1. Moagem do Malte

A primeira etapa consiste na moagem dos grãos de malte. É um processo físico que quebra a casca dos grãos e expõe o seu conteúdo, transformando-o em farinha. O objectivo é produzir a desintegração completa do endosperma para que todos os seus elementos estejam acessíveis à acção enzimática (Carvalho, 2007) de modo a otimizar a extracção e conversão dos seus componentes em substâncias de baixo peso molecular. Nesta fase é importante o nível de friabilidade dos grãos e a proporção de grãos modificados, conseguidos durante a maltagem, uma vez que as partes mais quebradiças vão originar uma maior quantidade de malterial farináceo, mais fácil de solubilizar.

4.1.2. Brassagem

A brassagem é uma etapa de extrema importância que engloba a preparação, filtração e ebulição do mosto. O mosto consiste na solução dos componentes do malte em água quente, onde as enzimas hidrolíticas vão actuar e degradar os constituintes do malte.

- **Preparação do mosto**

Este passo consiste na mistura do malte moído com a água, de forma a permitir a dissolução dos constituintes do malte. É nesta fase que as enzimas produzidas durante a maltagem são activadas, promovendo a hidrólise do amido, proteínas e β -glucanas presentes no malte. O amido é convertido em açúcares fermentescíveis, as proteínas em péptidos e aminoácidos e as β -glucanas são degradadas em componentes de baixo peso molecular (Steiner, et al, 2011) . Como já foi referido, as enzimas mais importantes na produção de cerveja são a α e β -amilase, as β -glucanases e as proteases. A acção destas enzimas é promovida consoante as temperaturas aplicadas: as β -glucanases e as proteases são activadas entre os 35°C e os 55°C, as amilases entre os 60°C e os 75°C. Acima destas temperaturas as enzimas são inactivadas. (Findlay, 1971) A temperatura é por isso uma forma de controlar a permanência de actividade de cada grupo enzimático (Gupta, et al, 2010; Carvalho, 2007). No final, o amido deve estar completamente convertido em açúcares, constituindo o mosto (solução de açúcares) (Eblinger & Narzib, 2012).

- **Filtração do mosto**

Nesta fase, o mosto é filtrado de forma a separar a parte insolúvel (dreche ou bagaço de malte) do filtrado, e eliminar os resíduos dos grãos de malte, obtendo um mosto límpido (Ribeiro & Santos, 2005)

- **Ebulição do mosto**

Diluído e filtrado, o mosto é levado à ebulição atingindo uma temperatura até 135°C (Eblinger & Narzib, 2012). Este passo tem o objectivo de estabilizar e esterilizar o mosto, promovendo a inactivação das enzimas e precipitação das proteínas (Ribeiro & Santos, 2005). É nesta fase que é adicionado o lúpulo, que vai fornecer o amargor à cerveja. As temperaturas elevadas promovem a evaporação de compostos voláteis indesejáveis como o DMS (Eblinger & Narzib, 2012). Depois da fervura o mosto é arrefecido até próximo dos 10°C. É importante que este arrefecimento ocorra de forma rápida para evitar contaminações (Carvalho, 2007). No final da brassagem é obtido um mosto límpido, rico em substâncias fermentescíveis, pronto para ser submetido à fase de fermentação.

4.1.3. Fermentação

Após a preparação, filtração, ebulição e arrefecimento do mosto dá-se início à fermentação. Nesta fase a levedura é adicionada ao mosto de modo a consumir os açúcares dissolvidos transformando-os em álcool e dióxido de carbono (Eblinger & Narzib, 2012). Esta etapa divide-se na fase aeróbia em que se dá a multiplicação das leveduras e na fase anaeróbia (Ribeiro & Santos, 2005). Durante esta fase ocorre uma redução do extracto, que é consumido pelas leveduras e da quantidade de proteínas. Há uma redução do pH, e a cor fica mais clara (Carvalho, 2007). Este processo dura mais de 5 dias e deve ser mantido a uma temperatura próxima entre 8 e 15°C. A levedura pode ser reutilizada (Ribeiro & Santos, 2005).

4.1.4. Maturação

Após obtido o mosto fermentado (cerveja verde) é necessário melhorar as suas características e eliminar as substâncias indesejáveis provenientes da fermentação. A cerveja é submetida a uma espécie de descanso onde é mantida a temperaturas próximas de 0°C. Dá-se ainda uma gaseificação, importante para a formação de espuma, e o amadurecimento do aroma e paladar tornando-os mais subtis (Findlay, 1971; Ribeiro & Santos, 2005).

4.1.5. Filtração/Clarificação

Esta é a etapa que precede o engarrafamento. Consiste numa filtração com o objectivo de remover partículas em suspensão e proporcionar limpidez à cerveja (Eblinger & Narzib, 2012). A cerveja passa num meio filtrante (terra diatomácea - kieselgur) de forma a melhorar a sua apresentação conferindo-lhe um aspecto cristalino (Findlay, 1971).

4.1.6. Embalamento

A etapa final é o engarrafamento da cerveja, que previamente sofre uma carbonatação por injeção de dióxido de carbono. Depois de engarrafada, a cerveja é submetida a uma pasteurização (Findlay, 1971).

II– Desenvolvimento Experimental

1. Objectivos e Delineamento do Trabalho

O presente trabalho centra-se no estudo da viabilidade de reduzir o tempo de secagem de malte no processo de maltagem, de forma a diminuir o consumo energético. Esta redução resulta na produção de malte com maior teor de humidade. Como foi descrito anteriormente, a produção de malte envolve 3 fases, a molha, a germinação e a secagem. A secagem é o objecto de interesse, pois é uma etapa que envolve um elevado consumo de energia. Contudo, o aumento de humidade do malte pode trazer riscos para a qualidade do produto. O quadro 4 resume os possíveis benefícios e riscos resultantes desta alteração, os quais serão estudados ao pormenor.

O desenvolvimento experimental foi realizado na secção da Malteria da Sociedade Central de Cervejas durante o período de Fevereiro a Outubro de 2012. O interesse demonstrado neste estudo foca-se na necessidade de reduzir os consumos energéticos desta secção. É claro que se trata de uma forma de reduzir custos, no entanto, é obrigatório que uma alteração no processo não provoque consequências negativas no produto final.

Quadro 4. Vantagens e desvantagens do aumento de humidade do malte

	Vantagens	Desvantagens
Fabrico de Malte	<ul style="list-style-type: none">- Redução do consumo de vapor- Maior concentração de enzimas- Aumento da capacidade de secagem- Reduzida formação de NDMA	<ul style="list-style-type: none">- Redução do tempo de armazenagem- Menor eficiência na desradiculação- Baixa conversão de DMS-p em DMS<ul style="list-style-type: none">- Cor reduzida- Não interrupção da germinação- Menor formação de aromas- Desenvolvimento de microflora- Heterogeneidade da humidade na camada durante a secagem

O trabalho experimental envolveu as seguintes etapas:

1. Avaliação das características de malte com diferentes humidades

Esta etapa decorreu ao longo de todo o tempo de experimentação uma vez que envolve várias fases. O objectivo é verificar as alterações provocadas nas características do malte, quando este é submetido a tempos e temperaturas de secagem diferentes conduzindo a teores de humidade diferenciados.

1.1. Ensaio de Secagem

Estes ensaios consistem em secagens de malte nas instalações da micromaltagem, fazendo variar o programa de secagem (binómio tempo/temperatura). Aqui foram obtidas amostras de malte com diferentes teores de humidade. O principal objectivo é determinar até que teor de humidade o malte pode ser seco sem afectar significativamente o seu processamento e as suas características físico-químicas.

1.2. Ensaio de Estabilidade

As amostras foram armazenadas durante 8 meses e avaliadas em termos de estabilidade.

2. Estudo do perfil de secagem nas estufas industriais

A segunda fase do trabalho consistiu na avaliação das condições de secagem a nível industrial. Trata-se do acompanhamento do processo de secagem nos secadores da malteria com o objetivo de compreender a variabilidade do teor de humidade ao longo da camada de malte e a evolução da secagem a diversas alturas da camada, ao longo do processo.

3. Estudo das características das diferentes camadas de malte

Na fase final do trabalho experimental e após a análise dos perfis de secagem observados na fase anterior, foram analisadas 3 subcamadas de malte com o objectivo de verificar se existe homogeneidade nas características físico-químicas das diferentes camadas de malte, no final do processo de secagem.

2. Caracterização do objecto de estudo

2.1. Instalações da Malteria

A partir de uma visita às instalações da malteria, que marcou o início do trabalho experimental, foi possível conhecer e compreender melhor o processo de maltagem. Apesar do objecto de estudo se restringir às zonas de secagem foram apresentadas as tinas de molha e os germinadores, também importantes para o processo, uma vez que se trata de um processo contínuo. Ao longo da realização do trabalho experimental e da permanência na fábrica foi possível conhecer estas instalações e equipamentos com mais pormenor, dando mais importância ao funcionamento das estufas de secagem de malte. A malteria compreende quatro tinas de molha, cinco tanques de germinação e 2 estufas de secagem (figuras 11, 12 e 13).



Figura 11. Tanques de molha (SCC)



Figura 12. Tanque de germinação (SCC)



Figura 13. Estufa de secagem (SCC)

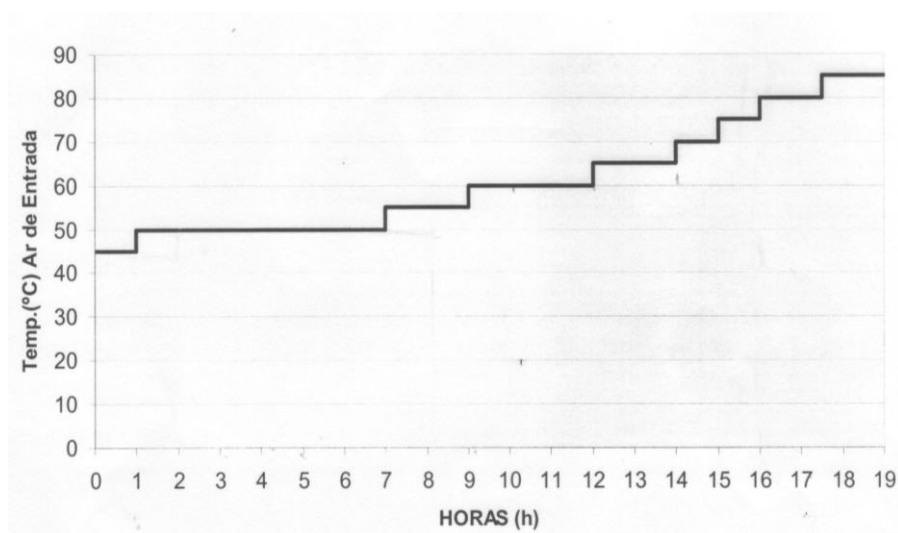
As duas estufas têm a capacidade de suportar 90 toneladas de malte. É esta quantidade que é laborada em cada processo de secagem. O malte verde, proveniente dos tanques de germinação é disposto numa camada que atinge uma altura entre 0,9 e 1,0 metro de altura. Esta altura deve ser homogénea em todos os pontos da estufa. Ambas as estufas se baseiam no mesmo funcionamento, descrito em 2.2., no entanto, diferem quanto à forma: a estufa 1 tem forma quadrangular e a estufa 2 é circular.

2.2. Processo de Secagem

O processo de secagem realiza-se tal como foi descrito em capítulo anterior. O programa de secagem (temperatura do ar) varia ligeiramente consoante o malte que se quer produzir. Aqui apenas será abordado o programa para o malte pilsen, que é produzido em maior escala. Segundo o Manual Técnico da fábrica, a secagem segue o programa de temperaturas que se encontra na figura 14. O ar quente entra pela base perfurada da estufa e é forçado a atravessar toda a camada de malte, com cerca de 1 metro de altura. As variáveis a controlar durante o processo são:

- Temperatura do ar que entra na camada (inferior)
- Velocidade do ar
- Temperatura do ar que sai da camada (superior)
- Humidade Relativa do ar (superior)

No final do processo de secagem o malte produzido contém um teor de humidade entre 4 e 4,5%. Este permanece cerca de 1 hora na estufa até arrefecer, de seguida é imediatamente desradiculado.



Fonte: Manual Técnico Industrial da SCC

Figura 14. Programa de temperaturas de secagem do malte pilsen

2.3. Especificações do Malte

O malte produzido na SCC apresenta um conjunto de especificações, que definem a sua qualidade. Alguns parâmetros não correspondem ao malte standard definido pela EBC. O quadro 5 apresenta os valores de alguns parâmetros de qualidade do malte produzido na SCC.

Quadro 5. Especificações do malte estabelecidas pela SCC

Parâmetro	Tolerância VM ±	LIC	VM	LSC
HUMIDADE	≤			4,5
RENDIMENTO FINA-MOAGEM, % s.m.s.	≥	80,0		
COR do MOSTO, uEBC	0,5	3,0	3,5	4,0
FILTRAÇÃO do MOSTO, min				60
VISCOSIDADE, cP (mPa.s)	≤			1,55
PODER DIASTÁSICO, W.K.	≥	200		
BETA-GLUCANAS do MOSTO, mg/l				200
FRIABILIDADE, %	≥	80		
GRÃOS INTEIROS NÃO MODIFICADOS, %	≤			2,0
GRÃOS PARCIALMENTE MODIFICADOS, %	≤			5,0
AZOTO SOLÚVEL, % s.m.s.	0,06	0,61	0,67	0,74
AZOTO TOTAL, % s.m.s.	0,16	1,52	1,68	1,84
PROTEÍNA SOLÚVEL, % s.m.s.	0,4	3,8	4,2	4,6
PROTEÍNA TOTAL, % s.m.s.	1,0	9,5	10,5	11,5
DMS precursor (SMM), µg DMS eq/g (ppb)	≤			4,0
NDMA, µg/kg (ppb)	≤			2,5

LIC – limite inferior crítico

LSC – limite superior crítico

VM – valor médio

3. Material e Métodos

3.1. Matéria-Prima

O malte analisado nas várias fases experimentais teve origem no mesmo tipo de cevada – cevada de primavera. O malte verde, proveniente da etapa de germinação, encontrava-se com um teor de humidade inicial entre 41-44%. Este foi submetido a ensaios de secagem na micromaltagem. Não foi possível fixar um valor de humidade inicial, uma vez que este depende do processo de germinação. Para outra fase do trabalho experimental foi analisado malte em fase de secagem a nível industrial, recolhido das estufas durante o processo.

3.2. Métodos

3.2.1. Delineamento experimental

As amostras de malte verde (1 kg) foram sujeitas a diferentes condições de secagem segundo um delineamento experimental central que teve por base uma matriz factorial composta constituída por 2 factores , 5 níveis para cada factor e uma réplica do ponto central. Este teve como objectivo ajustar os tempos de secagem (variáveis independentes) para cada temperatura, 45°C e 85°C, de forma a determinar o teor de humidade final do malte, poder diastásico, teor de β -glucanas, DMS-p, friabilidade do malte, percentagem de grãos não modificados e grãos parcialmente modificados, viscosidade e cor do mosto (variáveis dependentes). Desta forma é possível ajustar os tempos de secagem consoante o teor de humidade desejado, mediante a apresentação de uma superfície de resposta.

Este processo foi antecedido por ensaios preliminares a partir dos quais foi possível estabelecer limites de interesse experimental das variáveis independentes:

- os tempos de secagem a 45°C variam entre 6 -12 horas
- os tempos de secagem a 85°C variam entre 1 - 4 horas

Perante a matriz experimental codificada procedeu-se à sua descodificação, sendo desta forma obtidos os tempos de secagem (quadro 6).

Quadro 6. Matriz experimental codificada e decodificada para as variáveis independentes

A	B	tempo (H) (45°C)	tempo (H) (85°C)
1,41421	0,00000	13h15m	2h30m
1,00000	-1,00000	12h	1h
-1,41421	0,00000	4h45m	2h30m
0,00000	1,41421	9h	4h40m
0,00000 (C)	0,00000	9h	2h30
-1,00000	-1,00000	6h	1h
-1,00000	1,00000	6h	4h
1,00000	1,00000	12h	4h
0,00000 (C)	0,00000	9h	2h30
0,00000	-1,41421	9h	25m

3.2.2. Ensaios de Secagem na Micromaltagem

Uma vez definidos os tempos, foram efectuados os ensaios de secagem. Estes ensaios foram realizados nas instalações da micromaltagem, com o auxílio do secador laboratorial, representado na figura 15. Este secador funciona de forma um pouco diferente das estufas industriais, pois utiliza apenas duas temperaturas de secagem, 45°C e 85°C, no entanto, permite reproduzir o processo e manipular os tempos de secagem de forma a chegar aos valores de humidade pretendidos.



(a)



(b)

Figura 15. Micromaltagem - secador de malte (a). Amostras de malte no secador (b)

Após cada secagem, o malte foi imediatamente desradiculado com o auxílio de um equipamento laboratorial próprio para essa tarefa que separa as radículas dos grãos de malte e se encontra representado na figura 16. As amostras foram individualmente submetidas a análises laboratoriais, no laboratório da SCC.



(a)



(b)

Figura 16. Micromaltagem - desradicador de malte (a). Eliminação das radículas (b)

3.2.3. Estabilidade

Após desradiculação, uma parte de cada amostra foi armazenada em frascos de vidro, num local seco e escuro, à temperatura ambiente, de forma a, posteriormente, poder ser avaliada a sua estabilidade. Foram efectuadas avaliações visuais e organolépticas à sua estabilidade ao fim de 2, 4 e 8 meses.

3.2.4. Parâmetros analíticos

Os parâmetros de qualidade analisados foram definidos de acordo com os objectivos do trabalho e consistem no teor de humidade, poder diastásico, β -glucanas, DMS-p, friabilidade, grãos não modificados e grãos parcialmente modificados, cor e viscosidade do mosto. No quadro 7, encontra-se a referência ao método analítico aplicado a cada parâmetro. De seguida é explicado o fundamento e uma breve descrição do método analítico utilizado para cada parâmetro.

Quadro 7. Análises efectuadas ao malte e respectivos métodos analíticos

Parâmetro	Método
Humidade	Método 4.1 – Analítica EBC, V edição
Poder Diastásico	Método 4.12.1 – Analítica EBC, IV edição
β -glucanas	Método 4.16.3 – Analítica EBC, Junho 2005 Método 1.2 (Care and Adjustment of Apparatus: Spectrophotometers) – Analítica EBC Método 4.5.1 (Malt: Extract of Malt: Congress Mash) - Analítica EBC
DMS-p	Método Heineken HMESC: 02.10.02.021 – Raw Materials - Malt: Free DMS and SMM in Malt by Gaschromotography (Versão 5/2009)
Friabilidade – Grãos Não Modificados e Grãos Parcialmente Modificados	Raw Materials: Malt Friability, Glassy Corns and Partly Unmodified Grains (EBC Method) - HMESC 02.10.02.004, January 2007 Método 4.15 - Analítica EBC, V edição, 1998
Viscosidade do Mosto	Método 8.4 - Analítica EBC, V Edição (Dezembro 2002)
Côr do Mosto	Método 4.7.2 (Cor do Malte – Método Visual) - Analítica EBC HMESC 02.10.02.009 – RAW MATERIALS - Malt - Colour - Visual Method

3.2.4.1. Humidade

A humidade do malte foi determinada a partir das amostras previamente moídas que permaneceram 3 horas em estufa a uma temperatura de 105-107°C. O teor de humidade foi determinado por perda de massa e expresso em percentagem. Para teores de humidade mais elevados, utiliza-se malte não moído que permanece 5 horas na estufa, tal como se faz para a análise da humidade da cevada.

3.2.4.2. Poder Diastásico

Na determinação do poder diastásico o objectivo é quantificar a actividade combinada das enzimas α e β -amilase, em condições standardizadas. Estas enzimas são extraídas do extrato de malte com água destilada a 40°C e hidrolizam uma solução standard de amido. Foi determinada a quantidade de açúcares redutores formados. O resultado mede a porção de maltose produzida a partir de 100 gramas de malte. Este parâmetro é expresso em unidades WK^o (Windisch-Kolbach units) e calculado a partir da expressão seguinte:

$$P.D. = \frac{F(VB - VP)}{100 - H} \times 100$$

Onde:

P.D. – Poder Diastásico da amostra sobre matéria seca, em WK^o

F – Factor de correcção para obter o resultado em 100 g de malte

V_B – Volume de tiosulfato de sódio gasto na titulação do ensaio em branco

V_P – Volume de tiosulfato de sódio gasto na titulação do ensaio principal

H – Humidade do malte, em percentagem

3.2.4.3. β -Glucanas

As β -glucanas foram determinadas por Espectrofotometria. Trata-se da determinação das β -glucanas de alto peso molecular, ligações (1,3) (1,4) β -D-glucanas, solúveis, presentes no malte. As amostras de malte foram marceradas em brassagem laboratorial, de modo a solubilizar as β -glucanas. As β -glucanas solúveis foram coradas e o mosto produzido foi analisado de forma a determinar o complexo corado de β -glucanas. Este complexo absorve um comprimento de onda de 550 nanómetros e foi determinado por fotometria. Através da construção de uma recta de calibração, usando as concentrações das soluções e absorvâncias, foi obtida uma recta de regressão linear e construída a sua equação a partir da seguinte expressão:

$$\beta\text{-glucanas (mg/l)} = a \times (\text{Abs}_{\text{amostra}} - \text{Abs}_{\text{branco}}) + b$$

Em que:

a – declive da recta de calibração

b – ordenada na origem

Abs_{amostra} – Absorvância da amostra, em nanómetros

Abs_{branco} – Absorvância do ensaio em branco, em nanómetros

β -glucanas – concentração de β -glucanas, em miligramas por litro

3.2.4.4. DMS-p

O método analítico utilizado para este parâmetro baseia-se na determinação do DMS por cromatografia gasosa. Trata-se de um método complexo que determina o DMS livre e o DMS total. O DMS-p é determinado pela diferença dos dois. Este método envolve a preparação das amostras e da solução com alguma antecedência. É utilizado um software de cromatografia, onde são construídos cromatogramas e calculadas as concentrações de DMS livre e DMS total das amostras de malte.

- Concentração do DMS livre

$$\text{DMS livre} = \text{Razão do DMS livre} \times \text{R.F. do DMS livre}$$

Onde:

DMS livre – concentração de DMS livre, expresso em microgramas / grama

Razão do DMS livre – área do pico do DMS livre / área do controlo interno

R.F. do DMS livre – Factor de resposta do DMS livre

- Concentração do DMS total

$$\text{DMS total} = \text{Razão do DMS total} \times \text{R.F. do DMS total}$$

Onde:

DMS total – concentração de DMS total, expresso em microgramas / grama

Razão do DMS total – área do pico do DMS total / área do controlo interno

R.F. do DMS total – Factor de resposta do DMS total

- Concentração do DMS-p

$$\text{DMS-p} = \text{DMS total} - \text{DMS livre}$$

Onde:

DMS-p – Concentração do DMS-precursor, em micrograma equivalente DMS / grama

DMS total – Concentração de DMS total, em micrograma / grama

DMS livre – Concentração do DMS livre, em Micrograma / grama

3.2.4.5. Friabilidade, grãos não modificados e grãos parcialmente modificados

A friabilidade do malte foi determinada com recurso a um instrumento apropriado, um friabilímetro. A amostra de malte é colocada dentro de um crivo em forma de tambor. Os grãos de malte são forçados contra o crivo rotativo durante 8 minutos. As fracções modificadas de cada grão são forçadas a passar através do crivo, enquanto que as partes inteiras são retidas no interior do tambor. É medida a friabilidade:

$$F = 100 - 2 \times A$$

Em que:

F – Friabilidade, em percentagem

A – Massa da fracção retida no tambor, em gramas

Os **grãos inteiros não modificados** (WUG - do inglês: Whole Unmodified Grains) são separados manualmente a partir da fracção retida no tambor, e pesados. A fracção que sobra é submetida a um crivo vibratório. A parte retida corresponde aos **grãos parcialmente modificados** (PUG – do inglês: Partially Unmodified Grains).

$$WUG = 2 \times B$$

Em que:

WUG – Grãos inteiros, em percentagem

B – Peso dos grãos classificados manualmente como inteiros

$$PUG = 2 \times C$$

Em que:

PUG – Grãos parcialmente não modificados, em percentagem

C – Peso do material retido no peneiro vibratório, em gramas

3.2.4.6. Viscosidade

Para a determinação da viscosidade do mosto foi utilizado o método de queda de bola, com recurso a um viscosímetro de Hoppler. A medição da viscosidade é efectuada num espaço de tempo de 60 minutos após o início da filtração do mosto, a temperatura constante de 20°C. A viscosidade é expressa em mPa.s de acordo com a seguinte expressão:

$$t = K (r_1 - r_2) \times t$$

Em que:

K – constante da bola, retirada da calibração do equipamento, em mPa.s / g.s

r_1 – densidade da bola, em g/cm³

r_2 – densidade da amostra a 20°C, em g/cm³

t - tempo de queda da bola (pertencente ao equipamento), em segundos

3.2.4.7. Côr do Mosto

A cor dos mostos foi determinada após a sua filtração, por comparação visual com a uma série de discos de cor, calibrados numa escada determinada pela EBC. A cor da amostra é expressa em unidades EBC e calculada com base na expressão seguinte:

$$\text{Cor} = \frac{A \cdot 25 \cdot f}{c} \text{ (unidades EBC)}$$

Onde:

A – cor lida nos discos de cor EBC

25 – comprimento da cuvete standard, em milímetros

f – factor de diluição

C – comprimento da cuvete usada, em milímetros

3.2.5. Estudo do perfil de secagem nas estufas industriais

O perfil de secagem de cada estufa foi definido com base no teor de humidade de amostras recolhidas ao longo de cada processo de secagem. De forma a diferenciar 3 subcamadas dentro da camada de malte, o amostrador utilizado foi marcado a 1 metro de altura e este dividido em 3 partes, correspondendo estas às 3 subcamadas em estudo: camada inferior identificada com C₁, camada intermédia identificada como C₂ e a camada superior identificada como C₃ (figura 17). Foram ainda marcados horizontalmente 3 pontos diferentes nas estufas que correspondem a diferentes zonas de recolha de amostras. Uma vez que as duas estufas apresentam geometrias diferentes, os pontos marcados não coincidem nas duas estufas.

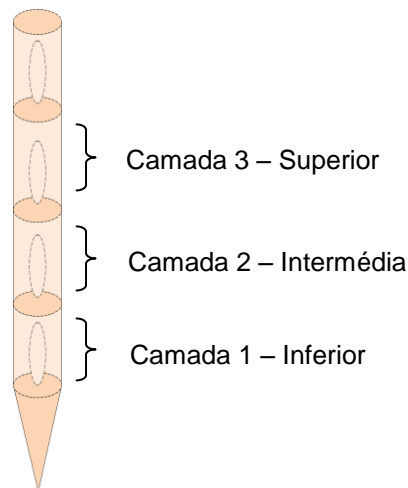


Figura 17. Esquema do amostrador utilizado na recolha de amostras de malte

3.2.5.1. Estufa 1

Na estufa 1, o acesso ao malte restringe-se à zona de entrada, não sendo possível alcançar outras zonas da estufa. Este estufa é de forma quadrangular e os pontos de recolha de malte situam-se como representado na figura 18.

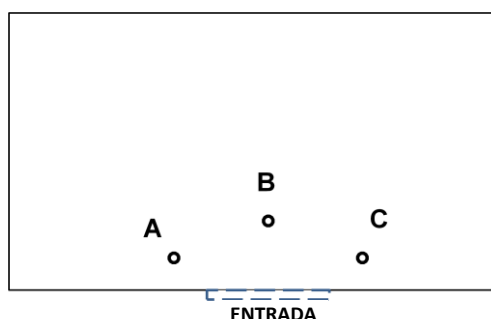


Figura 18. Esquema representativo da estufa 1

3.2.5.2. Estufa 2

A estufa 2 tem um sistema de enchimento que possibilita o acesso ao interior da estufa, o que permitiu o alcance de malte em pontos diferentes da estufa 1. A plataforma de enchimento serviu de base para a recolha de amostras nas zonas dos pontos D, E e F, como mostra a figura 19.

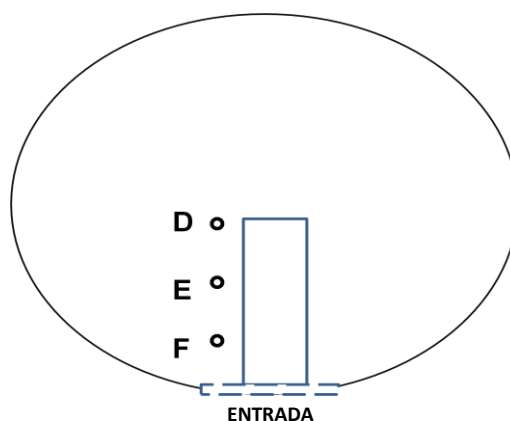


Figura 19. Esquema representativo da estufa 2

Em cada estufa foram recolhidas amostras de 2 em 2 horas desde o início do processo. Cada recolha englobava 3 pontos e 3 alturas diferentes, fazendo um total de 9 amostras em cada recolha de malte. Ao longo deste processo foi efectuada a medição do teor de humidade assim que as amostras iam sendo recolhidas. Esta análise foi efectuada nas instalações da micromaltagem recorrendo a equipamentos aqui existentes. Após determinado o teor de humidade das amostras de malte recolhidas ao longo das cerca de 20 horas de secagem, foram traçadas as curvas de evolução de secagem para cada estufa.

3.2.6. Estudo das características físico-químicas da camada de malte

Após a análise dos perfis de secagem, as 3 subcamadas de malte foram caracterizadas em termos dos restantes parâmetros de forma a verificar se existe homogeneidade nas características do malte. No final do processo de secagem foram recolhidas amostras de malte na estufa 1, correspondentes às 3 subcamadas, recorrendo ao método utilizado anteriormente (descrito em 3.2.5.). As amostras foram submetidas as mesmas análises referidas no ponto 3.2.4.

4. Apresentação e discussão dos Resultados

4.1. Influência das condições de secagem da micromaltagem

O programa de temperaturas utilizado no processo de secagem de malte revelou ter influência nas suas características. Em condições de micromaltagem, onde são utilizadas apenas duas temperaturas, os resultados obtidos para os parâmetros analisados encontram-se no quadro 14 no anexo 1, e, sempre que possível, foram ajustados ao modelo experimental.

4.1.1. Desradiculação/Moagem

O quadro 8 apresenta os resultados de desradiculação e moagem obtidos a partir dos ensaios preliminares. Com base nestes resultados e nos resultados obtidos no modelo experimental, os ensaios de desradiculação e moagem revelaram que para as amostras com humidade igual ou superior a 12% tornou-se difícil desradicular e moer com sucesso, sendo que a amostra com 16,6% de humidade causou problemas no equipamento, tornando impossível a sua moagem. Para as restantes amostras, com humidade inferior, este processo foi realizado com sucesso.

Quadro 8. Resultados dos ensaios preliminares

Humidade	Desradiculação	Moagem
14%	Difícil	Difícil
12%	Normal	Difícil
10%	Normal	Normal
9%	Normal	Normal
6%	Normal	Normal

Assim, independentemente dos resultados dos parâmetros de qualidade do malte, verifica-se que, por questões operacionais, é inviável a utilização de malte com um teor de humidade superior a 12%.

4.1.2. Humidade

O teor de humidade final do malte revela ser um parâmetro bastante influenciado pelas condições de secagem. A equação polinomial que descreve a superfície de resposta da humidade em função dos tempos de secagem é a seguinte:

$$\text{Humidade} = 28,12 - 0,26 t_{45} - 0,50 t_{45}^2 - 13,83 t_{85} + 1,62 t_{85}^2 + 3,33 t_{45} t_{85} \quad (1)$$

$$R^2 = 0,88 \quad R^2_{\text{ajust}} = 0,73$$

O parâmetro que apresenta uma influência significativa ($p < 0,05$) no teor de humidade final do malte é o tempo de secagem a 85°C, sendo que a primeira fase do processo influencia marginalmente esta característica.

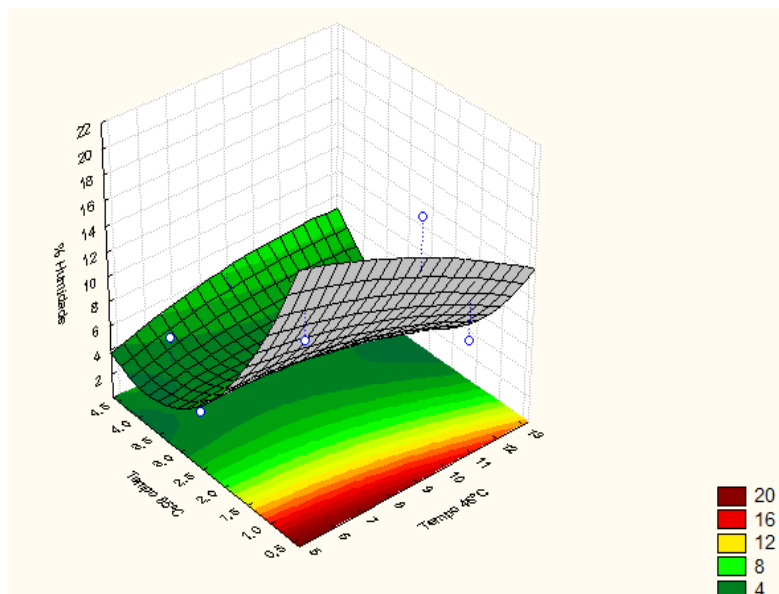


Figura 20. Superfície de resposta para a variável humidade

A partir da superfície construída (figura 20) verifica-se que é possível obter o mesmo teor de humidade final utilizando diferentes programas de temperatura. À medida que o tempo de permanência a 85°C aumenta verifica-se uma diminuição do teor de humidade final. A redução máxima de humidade no malte é atingida ao final de 3 horas e meia de secagem a 85°C pelo que,

atendendo apenas a esta característica, não há vantagem em prolongar a secagem por um maior período de tempo. Esta tendência apenas é invertida para tempos de secagem a 45°C mais longo (superiores a 9 horas), o que poderá ser explicado pelo perfil de desidratação do grão.

4.1.3. Poder diastásico

O programa de temperatura também revela ter influencia no valor do poder diastásico. Apesar do ajuste do modelo ser menor, a superfície de resposta (figura 21) é indicativa da influencia dos parâmetros de secagem na actividade enzimática. A equação 2 descreve a relação deste parâmetro com os tempos de secagem.

$$\text{Poder diastásico} = 271,81 + 8,47 t_{45} + 0,07 t_{45}^2 - 4,66 t_{85} - 1,94 t_{85}^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,75 \quad R^2_{\text{ajust}} = 0,55$$

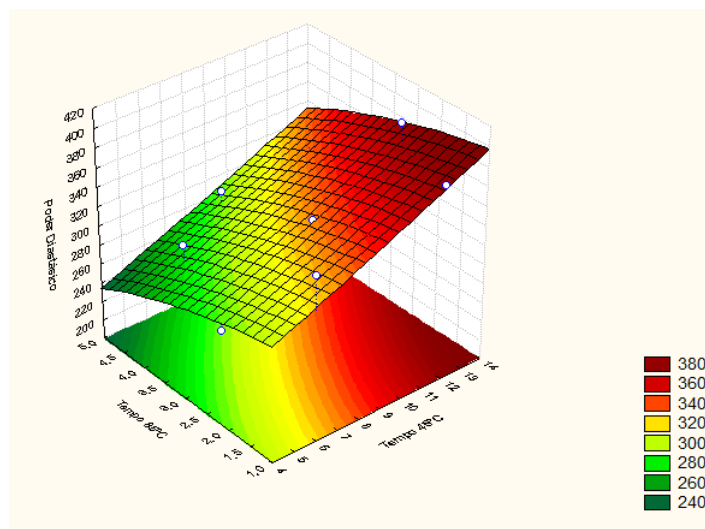


Figura 21. Superfície de resposta para a variável poder diastásico

Contrariamente ao que acontece com a variação da humidade, o parâmetro que apresenta maior influência no poder diastásico do malte é o tempo de secagem a 45°C ($p < 0,027$), enquanto que o efeito a 85°C é apenas marginal ($p < 0,070$). A obtenção de valores mais elevados ocorre com a maior permanência a temperatura de 45°C e menor a 85°C. Este resultado pode ser devido a dois efeitos: a temperatura mais baixa permite que a germinação prossiga por mais tempo conduzindo a um aumento da síntese enzimática e a 85°C dá-se a inactivação enzimática, a α -amilase inactiva a temperaturas superiores a 80°C e a β -amilase a temperaturas superiores a 70°C. No entanto, a gama de valores representados no gráfico enquadra-se nas especificações do malte produzido na SCC, pois apenas é especificado o limite inferior, sendo este igual a 200 W.K..

4.1.4. Beta-Glucanas

A figura 22 apresenta a superfície de resposta correspondente a teor de beta-glucanas. Estes são compostos de elevado peso molecular que devem ser degradados durante a maltagem. A equação 3 descreve a sua variação consoante os tempos de secagem. Apesar de se tratar de um ajustamento ligeiramente mais baixo, também este parâmetro revela ser influenciado pelo programa de temperatura.

$$\text{Beta-glucanas} = 262,34 - 14,46 t_{45} - 55,97 t_{85} + 8,22 t_{85}^2 + 2,5 t_{45} t_{85} \quad (3)$$

$$R^2 = 0,73 \quad R^2_{\text{ajust}} = 0,51$$

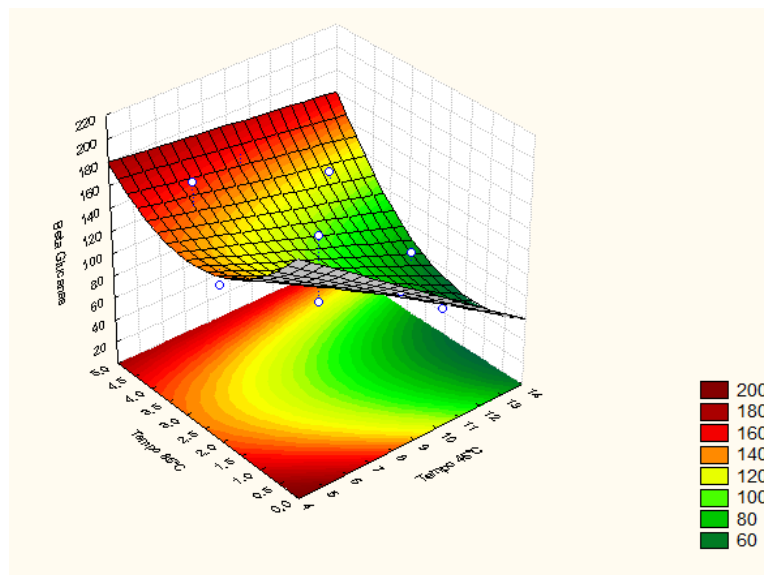


Figura 22. Superfície de resposta para a variável beta-glucanas

Uma vez que o teor de β -glucanas decorre da actividade enzimática, também a temperatura com maior influência revela ser 45°C. A esta temperatura as enzimas β -glucanases continuam activas, dando continuação à degradação das β -glucanas. No entanto, trata-se de enzimas muito sensíveis ao calor sendo que a temperaturas entre os 55-60°C são inactivadas. Uma vez que é conveniente um teor reduzido deste composto, devido ao seu elevado peso molecular, é vantajoso prolongar a actividade enzimática. Desta forma explica-se que o tempo de permanência a 45°C seja o factor mais influente no teor de β -glucanas ($p < 0,037$).

Para este parâmetro, o limite superior definido pela SCC encontra-se nos 200 mg/l. Todos os valores que constam no gráfico encontram-se dentro deste limite, no entanto, tratando-se de um limite superior, quanto menor for, mais vantajoso se torna. Um reduzido teor de β -glucanas revela uma elevada actividade das β -glucanases, evitando assim a adição desta enzima durante a brassagem.

4.1.5. Viscosidade do Mosto

A viscosidade do mosto é definida pela presença de compostos de elevado peso molecular. A presença de β -glucanas no mosto é vista como o grande responsável por valores elevados de viscosidade, uma vez que constituem compostos de elevado peso molecular. Deste modo, é possível relacionar estes dois valores de forma directa, sendo maior o valor da viscosidade quanto maior for o teor de β -glucanas no mosto. Este facto explica a semelhança entre as duas superfícies construídas. A equação 4 define a relação entre a viscosidade do mosto e os tempos da secagem.

$$\text{Viscosidade} = 1,70 - 0,04 t_{45} + 0,001 t_{45}^2 - 0,01 t_{85} + 0,0005 t_{85}^2 + 0,003 t_{45} t_{85} \quad (4)$$

$$R^2 = 0,90 \quad R^2_{\text{ajust}} = 0,77$$

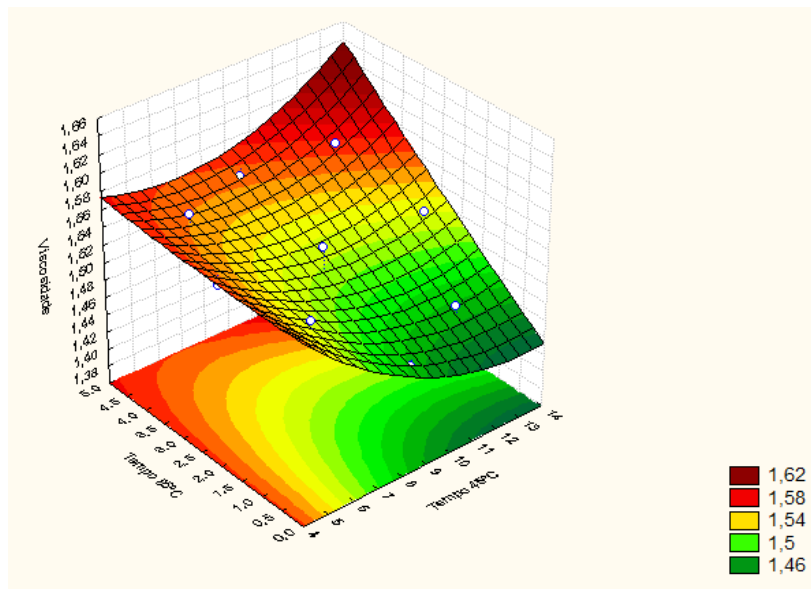


Figura 23. Superfície de resposta para a variável viscosidade do mosto

Contrariamente ao esperado o modelo indica que, para a viscosidade do mosto, o parâmetro mais influente é o tempo de permanência a 85°C ($p < 0,007$). No entanto, seria de esperar um comportamento semelhante ao que acontece com o teor de β -glucanas, isto é, uma maior influencia do tempo de permanência a 45°C. De acordo com as especificações da SCC, o limite superior crítico para este parâmetro é de 1,55 mPa.s. A figura 23 apresenta a influencia dos tempos de secagem de malte na viscosidade do mosto e indica que para obter valores de viscosidade que se enquadrem nas especificações do malte, o limite máximo de permanência a 85°C durante a secagem é de 3 horas e o tempo de permanência a 45°C deve ser superior a 5 horas.

4.1.6. DMS-p

Como ja foi referido, o DMS é um composto com impacto negativo na cerveja. Para que seja eliminado durante o processamento, é necessária a aplicação de temperaturas elevadas que promovem a sua evaporação. A volatilização do DMS durante a ebulição do mosto depende da concentração deste composto no malte e do processo de secagem a que foi submetido. É conveniente que a concentração de DMS-p no malte seja baixa, pois significa que foi convertido em DMS, este mais fácil de eliminar. A equação 5 define a relação entre a DMS-p do malte e os tempos da secagem, a qual é ilustrada na figura 23.

$$\text{DMS-p} = 18,21 - 1,83 t_{45} + 0,16 t_{45}^2 - 4,67 t_{85} + 1,06 t_{85}^2 - 0,32 t_{45} t_{85} \quad (5)$$

$$R^2 = 0,93 \quad R^2_{\text{ajust}} = 0,84$$

De acordo com o modelo, o factor que mais influencia no valor do DMS-p é o tempo de permanência a 85°C ($p < 0,03$). Este facto coincide com a teoria uma vez que o tempo de permanência a esta temperatura é determinante para o valor de DMS-p.

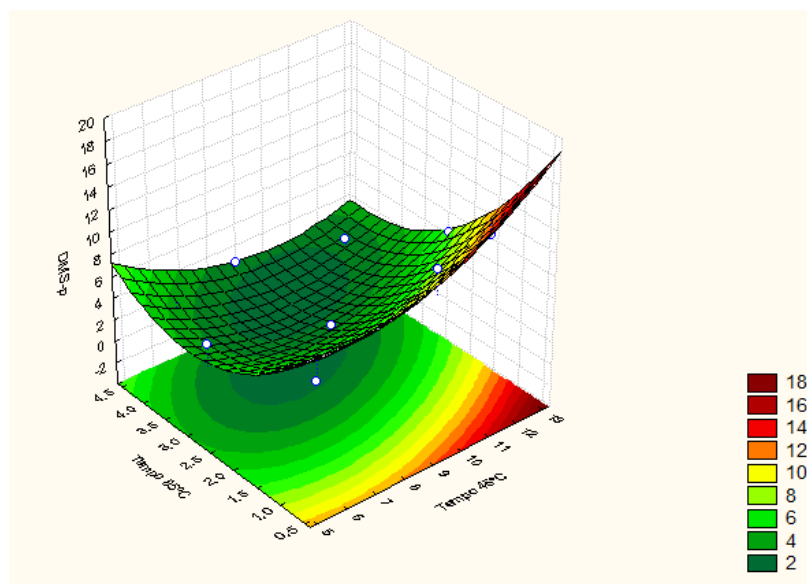


Figura 24. Superfície de resposta para a variável DMS-p

Para este parâmetro e segundo as especificações da SCC, o limite superior crítico é de 4,0 μg DMS eq/g. A partir da superfície de resposta verifica-se que este valor é conseguido com pelo menos 2 horas de permanência a 85°C e um tempo de permanência a 45°C entre 6 e 11 horas.

Os resultados obtidos até aqui permitiram estabelecer limites no que diz respeito aos tempos de secagem utilizados na micromaltagem. Relativamente ao tempo de permanência a 45°C, foi possível definir um intervalo entre 5 e 11 horas, sendo o valor mínimo determinado pelos valores da viscosidade do mosto e do DMS-p e o máximo pelos valores do DMS-p. Em relação ao tempo de permanência a 85°C, os tempos definidos são um mínimo de 2 horas, determinado pelo DMS-p e um máximo de 3 horas definido pelos valores da viscosidade.

Transpondo estes valores para o gráfico da humidade, a intersecção dos dois intervalos compreende teores de humidade entre 5 e 8%, como ilustra a figura 25. Uma vez que o objectivo deste trabalho é estabelecer um valor máximo de humidade sem influenciar negativamente os restantes parâmetros, com base nestes resultados, é possível afirmar que até níveis de humidade de 8% todos os parâmetros analisados se enquadram nos limites estabelecidos pela SCC.

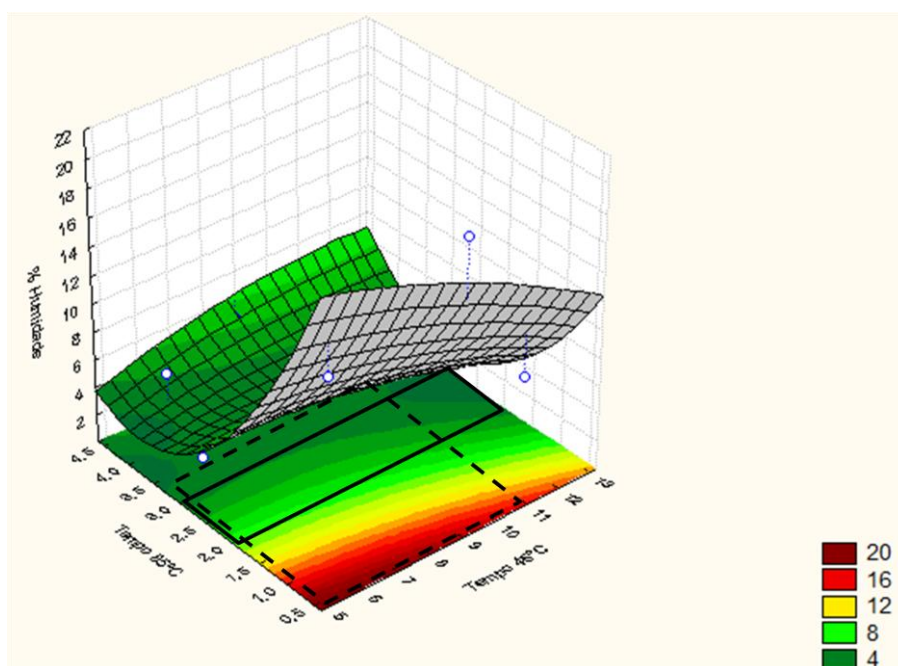


Figura 25. Definição dos tempos de secagem

Para 8% de humidade, que corresponde a um tempo de secagem de, no máximo 8 horas a 45°C mais 2 horas a 85°C, o poder diastásico apresenta um valor de 343 W.K., o teor de β -glucanas é de 108 mg/l, a viscosidade do mosto de 1,47 mPa.s e o DMS-p de 3,6 μ g DMS eq/g. Desta forma, e perante os valores médios que actualmente o malte apresenta, teríamos uma melhoria no poder diastásico de 303 para 343 W.K., nas β -glucanas de 190 para 108 mg/l e na viscosidade do mosto de 1,53 para 1,47 mPa.s. O valor do DMS-p encontra-se perto do limite, com 3,6 μ g DMS eq/g.

4.1.7. Cor

As diferenças de cor dos diferentes maltes produzidos não foram explicadas pelo modelo. Uma vez que a cor do malte depende da intensidade da secagem, o resultado esperado seria um aumento da intensidade à medida que aumenta tempo de secagem, no entanto, não foi encontrada uma relação entre este parâmetro e os tempos de secagem.

4.1.8. Friabilidade

Uma vez que o presente estudo envolve amostras de malte com teores elevados de humidade, por motivos operacionais, não foi possível efectuar a análise deste parâmetro (e dos parâmetros associados) à totalidade das amostras. Foram excluídas as amostras que apresentavam um teor de humidade superior a 10%. O seu ajustamento ao modelo estatístico utilizado também se tornou impossível. Assim, será efectuado um enquadramento destes resultados, aos resultados obtidos para os restantes parâmetros, uma vez que não é possível comprovar a existência de uma relação com os tempos de secagem.

Segundo as especificações do malte da SCC, o valor da friabilidade deve-se situar acima dos 80%. Das oito amostras analisadas, apenas quatro se encontram dentro deste parâmetro. O quadro 9 resume os valores situados dentro do limite estabelecido, no quadro 10 encontram-se os valores que não se enquadram no limite. Uma vez que valores elevados de friabilidade resultam de uma elevada modificação dos grãos, é de esperar que seja o tempo de permanência a 45°C a influenciar este parâmetro. Perante os valores obtidos, constata-se que as amostras que se encontram dentro do limite de friabilidade estabelecido e de acordo com os limites obtidos para os restantes parâmetros analisados, isto é, entre 6 e 11 horas a 45°C e 2 a 3 horas a 85°C, verifica-se que os valores de humidade correspondem a 4,9%. Valores de humidade mais elevados não se enquadram nos valores de friabilidade estabelecidos pela SCC.

Quadro 9. Resultados da friabilidade do malte enquadrados no limite das especificações

Tempos de Secagem			Humidade	Friabilidade
a 45°C	a 85°C	Total		
13H15min	2H30min	15h45min	4,9 %	80 %
9h	4h45min	13h45min	4,6 %	81 %
12h	4h	16h	4,8 %	84 %
9h	2h30	11h30min	4,9 %	83 %

Quadro 10. Resultados da friabilidade do malte fora do limite

Tempos de Secagem			Humidade	Friabilidade
a 45°C	a 85°C	Total		
12h	1h	13h	7,4 %	77 %
4h45min	2h30min	7h15min	4,9 %	77 %
9h	2h30min	11h30min	5,7 %	77 %
6h	4h	10h	5,5 %	72 %

Os dois parâmetros associados a esta análise são os grão inteiros não modificados (WUG) e os grãos inteiros parcialmente modificados (PUG). Também para estes parâmetros não foi possível analisar a totalidade das amostras, no entanto são apresentados os valores obtidos das amostras analisadas.

De acordo com as especificações da SCC, o valor dos WUG deve ser inferior ou igual a 2%. O quadro 11 resume os resultados obtidos para os WUG, sendo que das amostras analisadas apenas as duas últimas excedem o valor indicado. Para os limites de humidade obtidos anteriormente apenas duas amostras se enquadram correspondendo a 5,7 e 7,4%. No entanto, verifica-se que apenas a amostra com teor de humidade de 5,7% se enquadra nos tempos de permanência obtidos para os restantes parâmetros.

Quadro 11. Valores obtidos para os WUG

Tempos de Secagem			Humidade	WUG
a 45°C	a 85°C	Total		
4h45min	2h30min	7h15min	4,9 %	0,2 %
12h	1h	13h	7,4 %	0,4 %
9h	2h30	11h30	5,7 %	0,4 %
13h15min	2h30	15h45	4,9 %	0,4 %
12h	4h	16h	4,8 %	0,77 %
9h	4h45min	13h45min	4,6 %	2,3 %
6h	4h	10h	5,5 %	3,5 %

De acordo com as especificações da SCC, o valor dos PUGs deve ser inferior ou igual a 5%. O quadro 12 resume os resultados obtidos para este parâmetro. Todas as amostras analisadas se encontram dentro dos parâmetros excepto a última, cujo valor é 7,9%. Para os limites de humidade obtidos anteriormente apenas duas amostras se enquadram correspondendo a 5,7 e 7,4%. No entanto, verifica-se que apenas a amostra com teor de humidade de 5,7% se enquadra nos tempos de permanência obtidos para os restantes parâmetros.

Quadro 12. Valores obtidos para os PUG

Tempos de Secagem			Humidade	PUG
a 45°C	a 85°C	Total		
13h15min	2h30	15h45	4,9 %	1,2 %
12h	4h	16h	4,8 %	1,4 %
4h45min	2h30min	7h15min	4,9 %	1,5 %
9h	2h30	11h30	5,7 %	1,7 %
12h	1h	13h	7,4 %	1,8 %
9h	4h45min	13h45min	4,6 %	4 %
6h	4h	10h	5,5 %	7,9 %

4.1.9. Estabilidade

Ao fim de 2 meses foram verificadas as amostras de malte armazenadas tendo-se obtido os seguintes resultados: a amostra com um teor de humidade de 16,6% apresentava odor a mofo e presença de alguma contaminação, a amostra com 12,2%, visualmente, não se apresentava contaminada mas libertava algum odor a mofo. Ambas as amostras não apresentavam indícios de desenvolvimento germinativo, no entanto, estes resultados revelam uma reduzida durabilidade. As restantes amostras apresentavam-se aparentemente estáveis, não sendo evidente algum aspecto ou odor estranho, verificando-se o mesmo ao fim de 4 e de 8 meses.

4.2. Estudo do perfil de secagem nas estufas industriais

Os gráficos obtidos a partir da recolha de amostras de ambas as estufas da malteria permitiram chegar a conclusões importantes no sentido de compreender a evolução da secagem ao longo do processo. Foram construídas curvas que explicam a variação de humidade em cada ponto e curvas que explicam a variação de humidade em cada camada.

4.2.1. Perfil de secagem da estufa 1

Relativamente à estufa 1, os valores de humidade determinados encontram-se no quadro 15 do anexo 2. Estes dados permitiram construir as curvas que caracterizam o perfil de secagem desta estufa. O processo de secagem teve a duração de 20 horas. O malte proveniente dos germinadores entrou na estufa com um teor de humidade de 42,1%. No final do processo encontrava-se com 4,2% de humidade. Na figura 26 encontra-se o gráfico obtido para a variação de humidade nas subcamadas de malte, ou seja, os valores de humidade em diferentes alturas da camada de malte.

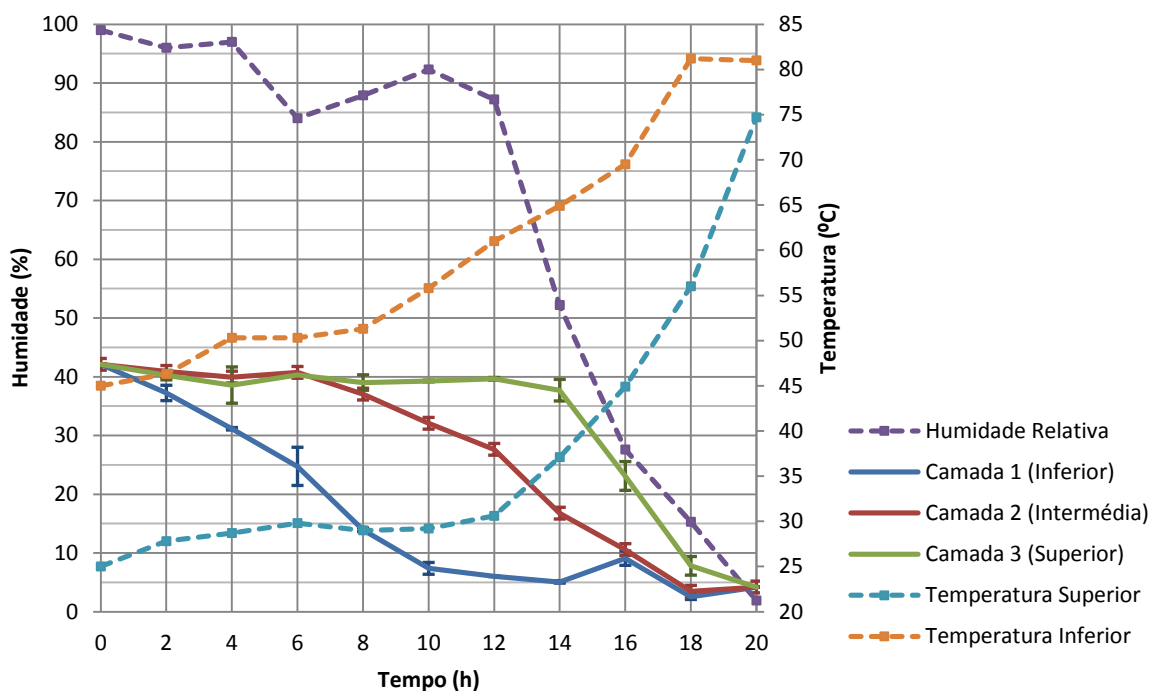


Figura 26. Perfil de secagem da estufa 1

Analisando o perfil de secagem, é evidente a discrepância existente entre as 3 subcamadas. A camada inferior destaca-se na perda humidade. Este facto deve-se ao modo de funcionamento das estufas, uma vez que é esta camada que contacta primeiramente com o ar quente que entra na estufa, o que provoca uma secagem mais rápida nesta zona. As camadas superiores encontram-se equilibradas nas primeiras horas de secagem, começando a divergir a partir da hora 7. A partir deste momento a camada intermédia começa a perder água, enquanto que a camada superior permanece constante durante cerca de 14 horas. Verifica-se assim uma grande variabilidade de humidade nas diferentes camadas ao longo do processo de secagem. Comparando a camada inferior com a superior, esta última permanece com um teor de humidade de cerca de 39% até à 12ª hora e neste mesmo tempo a camada inferior encontra-se com já com 6% de humidade. Consta-se que é possível atingir uma diferença de 33% de humidade entre estas camadas no decorrer de um processo de secagem, o que significa que o malte não seca de forma uniforme. Esta diferença revela que as subcamadas de malte sofrem programas de secagem diferentes, sendo que a camada inferior permanece mais tempo a temperaturas elevadas e a camada superior a temperaturas mais baixas. Este facto não é vantajoso para o objectivo de reduzir o tempo de secagem, ou seja, torna-se difícil encurtar o processo, uma vez que existe uma grande heterogeneidade no teor de humidade do malte, que se equilibra somente nas horas finais do processo. No entanto, transpondo para este gráfico os 8% de humidade determinados na micromaltagem, a secagem seria interrompida perto das 17h30, momento em que teríamos 13% de humidade na camada superior, 6% na camada intermédia e 5% na camada inferior. Resultaria numa redução de cerca de 2h30 de secagem.

Em relação às duas fases de secagem, sabe-se que o momento que as separa (break point), teoricamente ocorre próximo da 12ª hora de secagem e que corresponde ao momento em que a temperatura do ar superior se cruza com a sua humidade relativa. Analisando este processo, a primeira fase ou secagem a taxa constante, decorre até à 15ª hora. Neste momento a temperatura do ar superior encontra-se a 42°C com uma humidade de 37%, enquanto a temperatura do ar de entrada permanece a 65°C. Até este momento, a diferença de temperaturas do ar de entrada (inferior) e do ar superior à camada é constante. Daqui para a frente e já na 2ª fase do processo, a temperatura do ar de entrada é aumentada. Uma vez que o ar deixa de sair saturado da camada de malte a sua temperatura aumenta mais rapidamente aproximando-se da temperatura do ar superior, como se espera que aconteça.

Na figura 28 do anexo 3 está representado o comportamento do processo de secagem nos diferentes pontos referentes à estufa 1 (pontos A, B e C). As curvas foram construídas a partir do valor médio das 3 camadas em cada ponto, de forma a compreender se existe diferença no valor da humidade entre os locais diferenciados, ao longo do processo. Uma vez que as curvas se sobrepõem, é evidente que não existem diferenças significativas na perda de humidade, nos pontos marcados.

4.2.2. Perfil de secagem da estufa 2

Relativamente à estufa 2, os valores de humidade determinados encontram-se no quadro 16 do anexo 4. Tal como para a estufa 1, as curvas foram construídas com base nestes dados de forma a definir o perfil de secagem desta estufa. Este processo de secagem teve a duração de 20 horas. O malte proveniente dos germinadores entrou na estufa com um teor de humidade de 41,4%, terminando com 4,5% de humidade. Para compreender a variação de humidade nas subcamadas de malte foi construído o gráfico da figura 27, onde é evidente a diferença existente entre as 3 subcamadas.

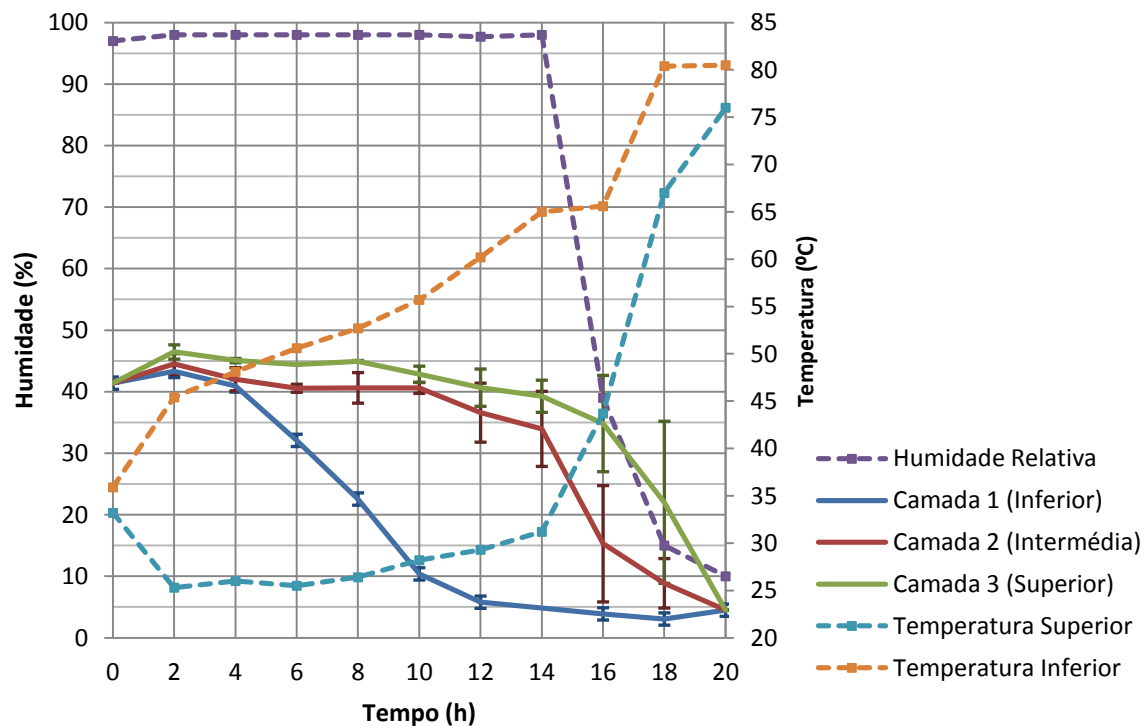


Figura 27. Perfil de secagem da estufa 2

Nesta estufa também é evidente a diferença da camada inferior que se destaca das outras camadas pelo maior contacto com o ar quente que entra na estufa. Nesta camada a secagem ocorre mais rapidamente, tal como acontece na estufa 1. As camadas superiores têm uma diferença de humidade menor, no entanto, so a partir da 14ª hora é que estas divergem, o que significa que nesta estufa o programa de secagem para cada subcamada também é diferente. Com base nestas curvas é possível compreender a ausência de homogeneidade de humidade entre as camadas de malte ao longo do processo. Comparando a camada inferior com a superior, esta última permanece com um teor de humidade próximo dos 40% até à 12ª hora e a este mesmo tempo a camada inferior encontra-se com 5% de humidade. Nesta estufa a diferença de humidade entre estas camadas vai até aos 35%, o que torna difícil a redução do tempo de secagem também para esta estufa. Transpondo para

este gráfico os 8% de humidade determinados na micromaltagem, a secagem seria interrompida perto das 19 horas, momento em que teríamos 13% de humidade na camada superior, 7% na camada intermédia e 4% na camada inferior, o que resultaria numa redução de 1 hora de secagem.

Analisando este processo, a primeira fase ou secagem a taxa constante, decorre até à 16ª hora. Neste momento a temperatura do ar superior encontra-se próxima dos 44°C com uma humidade de 37%, enquanto a temperatura do ar de entrada se aproxima dos 65°C. Até este momento, a diferença de temperaturas do ar de entrada (inferior) e do ar superior à camada é constante. Após o break-point a temperatura do ar de entrada é aumentada. Uma vez que o ar deixa de sair saturado da camada de malte a sua temperatura aumenta mais rapidamente aproximando-se da temperatura do ar superior, como é evidente no gráfico e que corresponde ao teoricamente esperado.

Na figura 29 do anexo 5 encontra-se representado o comportamento do processo de secagem nos diferentes pontos referentes à estufa 2 (pontos D, E e F). Tal como para a estufa 1 as curvas foram construídas a partir do valor médio das 3 camadas em cada ponto, para a compreender a diferença do teor da humidade entre os locais diferenciados, ao longo do processo. Uma vez que as curvas se sobrepõem, conclui-se que não existem diferenças significativas na perda de humidade, nos pontos marcados.

Ao longo do tempo de secagem assistiu-se a uma redução da altura do malte no amostrador em ambas as estufas, o que evidencia a redução do volume da camada de malte ao longo do processo pela perda de água.

4.3. Estudo das características físico-químicas da camada de malte

Com base nos resultados apresentados no quadro 13 verifica-se que as características das 3 subcamadas de malte não diferem significativamente. Assim, é possível afirmar que, no final do processo de secagem, o malte apresenta características homogéneas, apesar da heterogeneidade do processo de secagem sobre as subcamadas.

Quadro 13. Características das diferentes camadas de malte na estufa 1

Camadas	Humidade (%)	Poder Diastásico (W.K.)	β-glucanas (mg/l)	DMS-p (µg DMS eq/g)	Friabilidade (%)	Cor (unidades EBC)	Viscosidade (mPa.s)
C1 (inferior)	4,6	340	296	5,8	71	3,6	1,64
C2 (média)	4,7	330	290	6,3	72	3,3	1,67
C3 (Superior)	4,6	340	299	6,1	74	3,6	1,66

5. Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho reflectem, não só a importância do teor de humidade no malte, mas sobretudo a influência do programa de temperaturas a que este é submetido durante o processo de secagem. A análise dos resultados revela que para reduzir o tempo de secagem é necessário compreender a importância das gamas de temperatura utilizadas na etapa de secagem devido à sua influência nas características finais do malte, sendo fundamentais para definir a sua qualidade. Assim, com este estudo, foi possível concluir que:

- Para que os parâmetros analisados cumpram os limites estabelecidos pela SCC, o teor de humidade do malte pode ser aumentado até 8%. Os parâmetros mais determinantes na obtenção deste resultado foram os valores do DMS-p e da viscosidade do mosto;
- Para este teor de humidade o malte apresenta melhorias no poder diastásico, nas β -glucanas e na viscosidade do mosto;
- Os resultados foram obtidos com base no estabelecimento de limites nos tempos de secagem, recorrendo a equipamentos das instalações da micromaltagem. Aqui, o secador opera apenas a duas gamas de temperatura. Nestas condições, para obter um teor de humidade de 4,5%, o malte permanece 18 horas a 45°C e 4 horas a 85°C. Perante os resultados, os limites estabelecidos, em condições de micromaltagem, são de 5 - 11 horas a 45°C e 2 - 3 horas a 85°C para obter um teor de humidade até 8%. Obtém-se assim um aumento de humidade do malte com uma redução considerável dos tempos de secagem;
- A transposição dos resultados obtidos na micromaltagem para as estufas industriais não é directa, o que torna difícil fazer a sua aplicação a nível industrial.

A construção dos perfis de secagem das estufas industriais permitiu tirar conclusões acerca da redução do tempo de secagem. Concluiu-se que:

- Em ambas as estufas, trata-se de um processo pouco uniforme, com uma grande heterogeneidade entre as camadas de malte. A heterogeneidade existente impossibilita encurtar o processo significativamente, uma vez que a diferença no teor de humidade entre subcamadas é muito grande e permanece até à fase final do processo;
- As subcamadas de malte são submetidas a programas de temperatura diferentes durante o mesmo processo de secagem, o que sugere que é produzido malte com características diferentes em cada camada. No entanto, foi possível concluir que isso não acontece sendo obtida uma camada de malte com características homogéneas no final do processo;
- Na tentativa de tornar o processo mais curto e transpondo os 8% de humidade para os perfis de secagem, apenas poderia ser reduzido cerca de 2 horas de secagem, porém, este valor não representa uma redução significativa de custos.
- Para uniformizar os teores de humidade ao longo da camada de malte, este teria de ser remexido ao longo do processo de secagem, no entanto, seria necessário recorrer a um equipamento de volteasse o malte.

Para diminuir a diferença de humidade entre as subcamadas a solução poderá residir na altura da camada de malte, sendo que, diminuí-la seria uma forma de otimizar o processo de secagem, no entanto seria necessário efectuar mais processos de secagem e a poupança energética seria desconsiderada. Outro aspecto a considerar é o caudal de ar de entrada. A sua velocidade tem maior importância na primeira fase do processo, na qual é necessário um caudal maior. Aumentar a velocidade do ar nesta fase seria uma solução, no entanto, iria secar muito rapidamente a camada inferior, o que poderia aumentar a diferença entre as camadas superiores. Porém, se a temperatura for reduzida e a velocidade do ar aumentada, a camada inferior não secaria tão rapidamente diminuindo a diferença entre as camadas. No entanto as baixas temperaturas poderiam aumentar o tempo de secagem e pôr em causa a cor do malte. Remover as camadas inferiores ao longo do processo, assim que atingem o teor de humidade pretendido consiste numa outra forma de reduzir o tempo de secagem. Nas condições de secagem de ambos os processos analisados, a camada inferior atinge os 5% de humidade ao fim de 14 horas, no entanto, a remoção da camada inferior seria um processo difícil de aplicar.

Gostaria ainda de referir alguns aspectos a considerar. A cevada utilizada em todos os ensaios de micromaltagem foi a cevada de primavera, no entanto, foram utilizadas variedades diferentes. Outro aspecto a considerar é o facto de as amostras utilizadas terem sido recolhidas nos germinadores industriais e em processos diferentes. Estes factos poderão ter originado desvios nos resultados.

Uma vez que existem alguns aspectos em aberto, são aqui apresentadas sugestões para investigações futuras:

- Os ensaios de secagem devem ser efectuados com a mesma variedade de cevada e as etapas precedentes à secagem serem realizadas também na micromaltagem
- Determinar uma forma de equivalência entre as condições de secagem da micromaltagem e o processo industrial
- A análise do perfil de secagem numa estufa com volteador

Referências bibliográficas

- Aastrup, S., Brandt, J. & Rijs, P. (1991); Malt Specifications and Analyses (sense and nonsense); *Louvain Brewing Letters*, 4(1), pp. 16-20.
- Briggs, D. (2002); Malt Modification - A Century Of Evolving Views; *Journal of the Institute of Brewing*; Volume 108, pp. 395-405.
- Broadbent, R. & Palmer, G. (2001); Relationship Between Beta-amylase Activity, Steeliness, Mealiness, Nitrogen Content and the Nitrogen Fractions of the Barley Grain; *Journal of The Institute of Brewing*; 107(6), pp. 349-354.
- Cabral, T. & Cordeiro, J. (2004); *A produção de malte*; [Online] disponível em: http://aptcm.pt/asp/docs_informacoes/doc_22.pdf [Acedido em Dezembro 2012].
- Carlsberg (1999); *Hydrolase Action and Modification*; [Online] disponível em: <http://mail.crc.dk/flab/hydrolas.htm> [Acedido em Outubro 2012].
- Carvalho, L. (2007); *Dossiê Técnico - Produção de Cerveja*. Rio de Janeiro: REDETEC.
- Cervesia, (2003 – 2012); *Tipos de malte*. [Online] disponível em: <http://www.cervesia.com.br/malte/613-tipos-de-malte.html> [Acedido em Agosto 2012].
- Cervesia,(2003-2012); *Reacções enzimáticas e físico-químicas que ocorrem durante a malteação da cevada*; [Online] Available at: <http://www.cervesia.com.br/malte/132-reacoes-enzimaticas-e-fisico-quimicas-que-ocorrem-durante-a-malteacao-da-cevada.html> [Acedido em Agosto 2012].
- Charalambons, G. (1981); *Involatile constituents of beer*; USA: s.n.
- Coghe, S., D'Hollander, H., Verachtert, H. & Delvaux, F. (2005); Impact of Dark Specialty Malts on Extract Composition and Wort Fermentation; *Journal of the Institute of Brewing*, 111(1), pp. 51-60.
- Cook, A., 1962. *Barley and Malt*; London: Academic Press.
- Corradini, E. et al (2005); Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose; *Polímeros, Ciência e Tecnologia*, 15(4).
- Cui, S. W. (2005) *Food Carbohydrates - Chemistry, physical properties and applications*; USA: Taylor and Francis Group.
- Cymbron, D. P. (2000); *Optimização da síntese da alfa-amilase num processo de maltagem*; Lisboa: ISA.
- Dai, F. et al. (2007); Genotypic and environmental variation in phytic acid content and its relation to protein content and malt quality in barley; *Food Chemistry*, Volume 105, pp. 606-611.

- Denardin, C. & Silva, L. (2009); Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas; *Ciência Rural*, 39(3), pp. 945-954.
- European Brewing Convention (2000); *Malting Technology - Manual of good practice*; Germany: European Brewing Convention.
- Eblinger, H. & Narzib, L. (2012); *Beer in: Encyclopedia of Industry Chemistry*; Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Erdal, K. et al. (1993); Total Beta-Amylase in Barley used as Screening Criterion for Combined Amylolytic Activity in Malt; *European Brewing Convention 24th Congress*, p. Poster no.11.
- European Brewery Convention (2011); *European Brewery Convention*; [Online] disponível em: <http://www.europeanbreweryconvention.org/EBCmain/standardmaterials/standardmaterials.php> [Acedido em Agosto 2012].
- Findlay, W. (1971); *Modern Brewing Technology*; London: The Macmillan Press.
- Frias, J. M. (1992); *La Cebada - Criterios de calidad*; Alimentacion Equipos y Tecnologia, pp. 61-68.
- Gibson, T., Solah, V., Holmes, M. S. & Taylor, H. (1995); Diastatic Power in Malted Barley: Contributions of Malt Parameters to its Development and the Potential of Barley Grain Beta-amylase to Predict Malt Diastatic Power; *Journal of the Institute of Brewing*; Julho-Agosto, Volume 101, pp. 277-280.
- Goldammer, T. (2008); *The Brewer's Handbook*; Second Edition ed. U.S.A.: Apex Publishers.
- Gruber, M. (2001); The Flavor Contributions of Kilned and Roasted Products to Finished Beer Styles; *MBAA Technical Quarterly*, 38(4), pp. 227-233.
- Gump, B. H. (1993); *Beer and Wine Production*; Washington: American Chemical Society.
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N. & Gallagher, E. (2010); Barley for Brewing: Characteristics changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products; *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*; Volume 9, pp. 318-328.
- Hoseney, R. C. (1986); *Principles of Cereal Science and Industry*; USA: American Association of Cereal Chemists, Inc..
- Hough, J., Briggs, D. & Stevens, R. (1971); *Malting and Brewing Science*; London: Richard Clay (The Chaucer Press), Ltd.
- Kent, N. L. (1971); *Tecnología de los cereales*; Zaragoza: Imprenta Librería General.
- Lewis, M. J. & Young, T. M. (1995); *Brewing*; 1 ed. London: Chapman & Hall.

- Lorenz, K. J. & Kulp, K. (1991;); *Handbook of Cereal and Science and Technology*; New York: Marcel Dekker, INC.
- Malteurop (2008-2012); [Online] disponível em: <http://pt.malteurop.com> [Acedido em 6 Fevereiro 2012].
- Mousia, Z., Balkin, R., Pandiella, S. & Webb, C. (2004); The effect of milling parameters on starch hydrolysis of milled malt in brewing process; *Process Biochemistry*; Volume 39, pp. 2213-2219.
- NSF, (1999); *North Central IPM Center*; USA, [Online] disponível em: <http://www.ipmcenters.org/cropprofiles/docs/wabarley.html> [Acedido em Agosto 2012].
- Parker, D. & Proudlove, M. (1995); Studies on the Mechanism of Rootlets Inhibition in Developing Barley Embrios; *Journal of Cereal Science*, Issue 21, pp. 71-78.
- Pollock, J. (1979); *Brewing Science*; London: Academic Press, Inc.
- Prior, G. (1996); Malting Technology; *The Brewer*, Março, Volume 82, pp. 117-124.
- Radley, J. A. (1976); *Industrial Uses os Starch and its Derivates*; London: Applied Science Publishers Ltd.
- Ribeiro, F. & Santos, M. (2005); *Cervejas e Refrigerantes*; São Paulo: CETESB.
- Seward, B. (1992); Malt Quality; Agosto, pp. 275-278.
- Silva, F. et al. (2008); Electrophoretic and HPLC methods for comparative study of the protein fractions of malts, worts and beers produced from Scarlett and Prestige barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties; *Food Chemistry*, Issue 106, pp. 820-829.
- Sole, S. & Ryburgh, G. (2005); Analysis of NDMA (N-nitrosodimetilamine) in malt for beer and whisky production; *Shimadzu News*; Volume 3, pp. 14-15.
- Souza, K. & Neves, V., s.d. *Experimentos de Bioquímica*; [Online] disponível em: http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas_ch/teste_amido.htm [Acedido em Setembro 2012].
- Steiner, E., Auer, A., Becker, T. & Gastl, M. (2011); Comparison of beer quality attributes between beers brewed with 100% barley malt and 100% barley raw material; *Journal of the Science of Food and Agriculture*; Volume 92, pp. 803-813.
- Szwajgier, D. (2011); Dry and Wet Milling of Malt; A Preliminary Study Comparing Fermentable Sugar, Total Protein, Total Phenolics and Ferulic Acid Content in Non-Hopped Worts; *Journal of the Institute of Brewing*, 117(4), pp. 569-577.

- Teixeira, F. (2005); *Avaliação da capacidade para maltagem das variedades de cevada dística Scarlett e Cellar*; Lisboa: UTL, ISA.
- Vidal, M. (1993); *Cebadas dísticas españolas (Hordeum vulgare L.): Filogenia, bioquímica y aplicación potencial en programas de mejora*; Lleida: Universitat Politecnica de Catalunya.
- Vieira, F. (2004); *Efeito do tratamento com calor e baixa umidade sobre características físicas e funcionais dos amidos de mandioca-salsa, de batata-doce e de gengibre*; Piracicaba: Universidade de São Paulo.
- Vis, R. & Lorenz, K. (1997); Beta-Glucans: Importance in Brewing and Methods of Analysis; *Lebensm. Wiss. Technol*, Volume 30, pp. 331-336.
- VLB (2006); Analyses of N-Nitrosodimethylamine (NDMA) in Malt and Beer; *VLB Research Institute for Brewing and Malting Technology*.
- Wang, J. & Zhang, G. (2010); Beta-glucans and Arabinoxylans In: *Genetics and Improvement of Barley Malt Quality- Advanced Topics in Science and Technology in China*; Berlin: Springer, pp. 113-142.
- Warpala, I. & Pandiella, S. (2000); Grist Fractionation and Starch Modification During the Milling of Malt; *Trans IChemE*; Junho, Volume 78, p. Part C.
- Zhao, F. et al. (2006); Effects of sulphur on yield and malting quality of barley; *Journal of Cereal and Science*; Volume 43, pp. 269-377.
- Zimonja, O. & Svihus, B., s.d. Role of the starch and its gelatinisation on technical quality and nutritional values of feeds; *Norwegian University of Life Sciences*, pp. 73-76.

ANEXOS

ANEXO 1

Quadro 14. Resultados das análises efectuadas ao malte seco na micromaltagem

Amostras	Tempos de Secagem		Desradicagem / Moagem	Humidade (%)	Poder Diastásico	Beta-glucanas	DMS-p	Friabilidade	PUGs (grão parcialmente modificado)	WUGs (gão não modificado)	Cor	Viscosidade
	a 45°C	a 85°C										
1	13H15min	2H30min	Normal	4,9	390	72	3,1	80	1,2	0,4	4,4	1,52
2	12H	1H	Normal	7,4	380	65	6,5	77	1,8	0,4	4,1	1,47
3	4H45min	2H30min	Normal	4,9	260	120	5,896	77	1,5	0,2	3,9	1,54
4	9H	4H45min	Normal	4,6	300	135	2,345	81	4	2,3	4,5	1,55
5	9H	2H30min	Normal	5,7	330	66	4,5	77	1,7	0,4	4,4	1,49
6	6H	1H	Pouco difícil	12,2	350	152	5,586	Não se faz friabilidade			4,4	1,53
7	6H	4H	Normal	5,5	290	166	2,842	72	7,9	3,5	4,5	1,56
8	12H	4H	Normal	4,8	310	124	2,835	84	1,42	0,77	3,9	1,57
9	9H	2H30min	Normal	4,9	330	125	2,241	83	2,4	1,3	3,9	1,53
10	9H	25min	Muito difícil	16,6	330	122	13,526	Não se faz friabilidade			5,8	1,46

ANEXO 2

Quadro 15. Valores de humidade do malte recolhido na estufa 1 durante a secagem

Tempo	Amostra	Humidade Relativa	Temperatura Superior	Temperatura Inferior	Humidade																			
					A				B				C				Média das Camadas			Desvio Padrão				
					A1	A2	A3	A méd	B1	B2	B3	B méd	C1	C2	C3	C méd	1	2	3	1	2	3		
0	0	99	25	45	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	0,0	0,0	0,0
2	1	96	27,8	46,3	36,2	41,1	41,2	39,5	38,7	40,9	39,7	39,8	36,8	40,7	39,9	39,1	37,2	40,9	40,3	40,3	40,3	1,3	0,2	0,8
4	2	97	28,7	50,3	30,9	37,4	35,0	34,4	31,3	41,1	40,4	37,6	31,2	41,3	40,3	37,6	31,1	39,9	38,6	38,6	38,6	0,2	2,2	3,1
6	3	84	29,8	50,3	22,2	40,9	40,5	34,5	28,4	40,8	40,2	36,5	23,6	40,5	40,2	34,8	24,7	40,7	40,3	40,3	40,3	3,3	0,2	0,2
8	4	87,9	29	51,3	14,2	36,8	40,4	30,5	14,0	37,6	38,8	30,1	13,6	36,7	37,8	29,4	13,9	37,0	39,0	39,0	39,0	0,3	0,5	1,3
10	5	92,3	29,2	55,8	6,3	31,2	39,1	25,5	8,3	32,7	39,3	26,8	7,5	32,3	39,4	26,4	7,4	32,1	39,3	39,3	39,3	1,0	0,8	0,2
12	6	87,2	30,6	61	6,1	24,6	39,5	23,4	6,0	28,8	39,5	24,8	6,0	29,5	39,9	25,1	6,0	27,6	39,6	39,6	39,6	0,1	2,7	0,2
14	7	52,2	37,1	64,9	5,0	17,1	39,8	20,6	4,9	16,7	36,9	19,5	5,3	16,5	36,4	19,4	5,1	16,8	37,7	37,7	37,7	0,2	0,3	1,8
16	8	27,6	44,9	69,5	8,5	8,0	23,0	13,2	10,5	9,1	20,7	13,4	8,3	14,6	25,6	16,2	9,1	10,6	23,1	23,1	23,1	1,2	3,5	2,5
18	9	15,3	56	81,2	2,8	3,9	6,0	4,2	2,8	3,7	8,4	5,0	2,0	2,8	9,0	4,6	2,5	3,5	7,8	7,8	7,8	0,5	0,6	1,6
20	Valores Finais	1,9	74,7	81	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	0,0	0,0	0,0

ANEXO 3

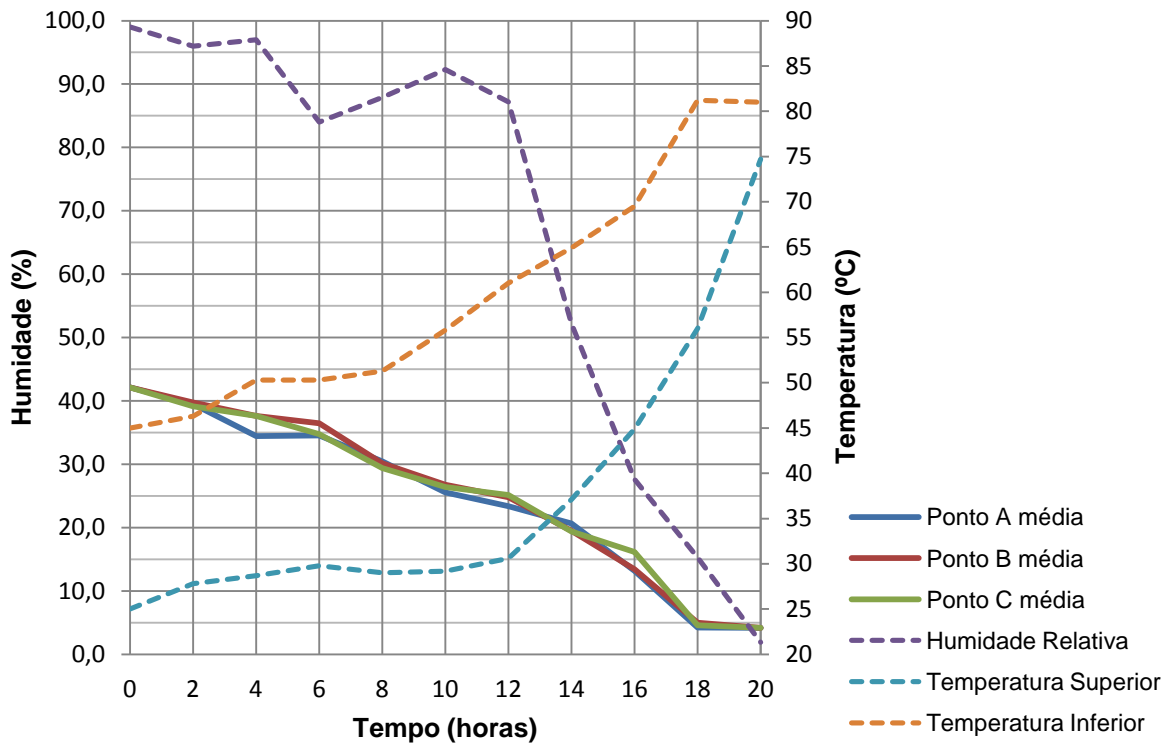


Figura 28. Perfil de secagem em diferentes pontos da estufa 1

ANEXO 4

Quadro 16. Valores de humidade do malte recolhido na estufa 2 durante a secagem

Tempo	Amostra	Humidade Relativa (%)	Temperatura Superior (°C)	Temperatura Inferior (°C)	Humidade																	
					D				E				F				Média das Camadas			Desvio Padrão		
					D1	D2	D3	D méd	E1	E2	E3	E méd	F1	F2	F3	F méd	1	2	3	1	2	3
0	0	97	33,2	35,9	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	41,4	0,0	0,0	0,0
2	1	98	25,3	45,4	45,9	46,4	47,8	46,7	41,0	43,9	45,9	43,6	43,0	43,2	45,7	44,0	43,3	44,5	46,5	2,5	1,7	1,2
4	2	98	26	48,1	41,9	44,2	45,1	43,7	40,2	41,1	45,4	42,2	40,7	40,8	44,7	42,1	40,9	42,0	45,1	0,9	1,9	0,4
6	3	98	25,5	50,6	36,0	41,2	44,5	40,6	33,2	39,9	44,4	39,2	27,1	40,6	44,4	37,4	32,1	40,6	44,4	4,6	0,7	0,1
8	4	98	26,4	52,7	22,9	43,5	44,9	37,1	22,1	39,3	44,8	35,4	22,7	39,1	45,1	35,6	22,6	40,6	44,9	0,4	2,5	0,2
10	5	98	28,2	55,7	15,5	39,6	43,6	32,9	8,3	41,1	43,6	31,0	7,4	41,2	41,3	30,0	10,4	40,6	42,8	4,4	0,9	1,3
12	6	97,7	29,3	60,2	5,6	40,8	42,0	29,5	6,3	40,4	42,8	29,8	5,5	32,3	37,2	25,0	5,8	36,6	40,7	0,4	4,8	3,0
14	7	98	31,2	65	5,5	40,6	42,2	29,4	4,7	32,7	38,4	25,3	5,3	28,6	37,2	23,7	5,2	34,0	39,3	0,4	6,1	2,6
16	8	39	43,7	65,6	3,8	24,1	39,1	22,3	4,2	16,5	39,6	20,1	3,7	5,3	25,8	11,6	3,9	15,3	34,8	0,3	9,5	7,8
18	9	15	67	80,4	3,4	10,0	30,9	14,8	2,9	12,2	28,3	14,5	2,9	4,4	6,9	4,7	3,1	8,9	22,0	0,3	4,0	13,2
20	Valores Finais	10	76	80,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	0,0	0,0	0,0

ANEXO 5

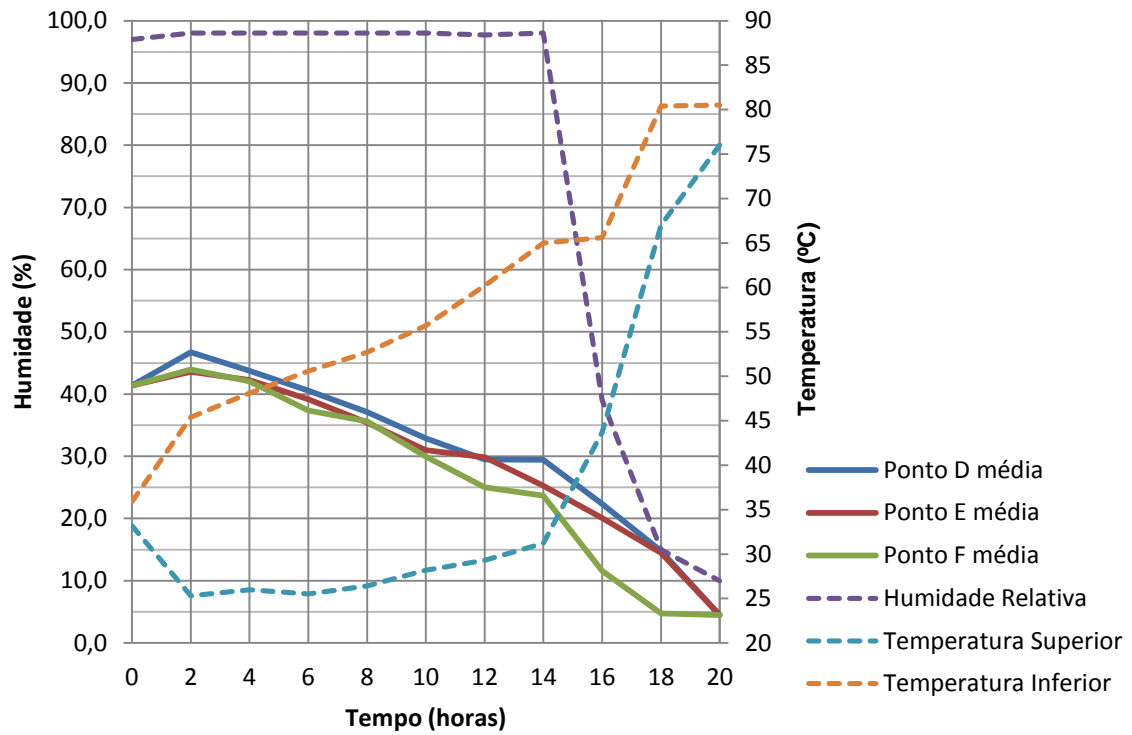


Figura 29. Perfil de secagem em diferentes pontos da estufa 2