



Valorização de cereais tradicionais: Aplicação para a indústria cervejeira

João Paulo Gollner-Reis

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Qualidade e Segurança Alimentar no âmbito da dupla Diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientado por:

Professora Doutora Maria Leticia Miranda Fernandes Estevinho
Professor Doutor Luís Avelino Guimarães Dias
Professora Doutora Alessandra Machado Lunkes

Bragança
2025

Este trabalho foi financiado pelo Projeto PRR (PRR-C05-I03-i-000161) com o título de “Desenvolvimento de cadeias de valor de cereais tradicionais para uma alimentação sustentável em Portugal”. O projeto está inserido na medida 12 - Alimentação sustentável e tem financiamento Nacional e Europeu. O projeto tem como objetivo promover a produção do cereal tradicional de Portugal e criar uma cadeia de valor que envolva os produtores, transformadores, comerciantes e consumidores.



**Desenvolvimento de Cadeias de Valor de Cereais Tradicionais
para uma Alimentação Sustentável em Portugal**

Projeto PRR-C05-I03-i-000161
MEDIDA 12 – ALIMENTAÇÃO SUSTENTÁVEL



Agradecimentos

Início estes agradecimentos pelos que incitaram esta jornada, meus orientadores: Professora Doutora Maria Leticia Miranda Fernandes Estevinho; Professor Doutor Luís Avelino Guimarães Dias, e; Professora Doutora Alessandra Machado Lunkes. Me aprofundar na ciência e tecnologia de alimentos vegetais foi um grande desafio, em que vocês me deram o suporte necessário, com sugestões cirúrgicas. Nesta empreitada, vocês confiaram em mim, me dando autonomia e contribuindo para minha maturidade acadêmica. Jamais esquecerei isso.

A toda equipe do laboratório, vos digo: a relação que construímos no dia-a-dia de trabalho é dos feitos que mais sinto orgulho de ter vivenciado neste período em terras lusitanas. O âmbito acadêmico nunca será fácil, mas poder conviver com vocês foi uma experiência singular. Vanessa, profissionais tão versadas quanto você são raras de encontrar. Com sua memória admirável, sempre pronta para dar sugestões e debater ideias que engrandeceram a mim e meu trabalho. Dona Fátima, de riso fácil, sempre pronta para nos dar uma bronca e soltar uma piada. Querida Isabel, a calma que o espaço precisava, sempre em prontidão para nos ajudar.

Pelas minhas companheiras de Pharmapitox, sou extremamente grato pela sorte de compartilhar edital, bancada e vida com vocês. O que nós construímos aqui foi e será para sempre lembrado como o ápice das relações laborais que experimentei. Laís, Hellen, Elena, Cacau, Beatriz, Natalia, Alexandra, Diana e Célinho, as risadas e o barulho vindos do laboratório sempre marcaram a felicidade que foi estar dentro dele.

Além da experiência profissional, vivenciar Bragança é uma oportunidade de engrandecimento pessoal, de encontrar o mundo dobrando a esquina, observá-lo por outras óticas, de quebrar os próprios paradigmas. Agradeço as amizades que fiz aqui. Tudo o que vivenciei nas terras frias transmontanas, cada quilômetro pedalado, cada passo de forró, cada casamento arranjado, cada titilado sentido, cada abatanado tomado, cada rallo por salada escutado e cada canhoto queimado, não teriam décimo do regozijo que tiveram sem a presença de vocês.

A mais saborosa de todas as amizades que erigi, agradeço por cuidar de tudo abaixo de Capricórnio. Eu não poderia confiar minha vida, meus gatos e minhas plantas a mãos mais cuidadosas e diligentes do que as suas.

O João que chegou a Portugal em fevereiro de 2024 queria se desafiar e jamais poderia imaginar tudo o que viveu aqui. E o João viveu. Sem medo, com coragem e feliz. Compartilhar tempo e espaço com vocês é dos maiores brios que eu poderia desejar nessa vida.

Por fim, agradeço a Dona Karla e Seu João, que lapidam minha cabeça dura de pedra cotidianamente, sendo a inspiração de trabalho e paciência em minha vida.

"Podemos forçar as plantas a crescerem na horizontal, isso não impede que - fora da coação -elas cresçam para cima."

Resumo

Cereais são um grupo alimentar de alta produção e importância nutricional para a dieta humana. Inseridos nestes, os "cereais tradicionais" possuem valor distinto, devido às suas características agronômicas e nutricionais. A caracterização e adoção destes cereais em diferentes produtos agregam à cadeia produtiva em geral, contribuindo para a melhoria nutricional e inovação. Assim como o mercado cerealista, a indústria cervejeira se alastra por todo o globo, buscando inovações constantemente, seja para a diversificação e destaque da bebida, seja para reduzir custos de fabricação. Vislumbra-se aqui uma oportunidade de incrementar a cadeia de produção de cereais tradicionais e satisfazer a busca pela novidade dentro do mercado cervejeiro. Este estudo investiga o uso de três diferentes cereais tradicionais ibéricos (trigo barbela, cevada rabuda e centeio ibérico) na indústria cervejeira, por meio da produção de malte. De forma geral, os maltes produzidos adequam-se aos padrões atuais da indústria cervejeira, com exceção da germinação, que apresentou valores razoavelmente abaixo dos relatados na literatura. Na tentativa de otimizar a malteação do trigo barbela, diferentes padrões de malte foram obtidos; todavia, modelos significativos não foram ajustados. Por fim, a influência da torra nas características do malte, com exceção da umidade do malte, não foram constatadas diferenças significativas para os macrocomponentes e perfil de ácidos gordos. No que concerne aos resultados do *e-nose*, é clara a distinção dentre os tratamentos avaliados.

Palavras-chave: Malte, cerveja, inovação, álcool.

Abstract

Cereals production are intimately linked to human history and development, having great nutritional value for the human diet. With more than 3 billion tons in 2022, cereal is the world's largest crops, being widespread and increasing across the globe, deeply intertwined in the diverse production chains. Among the existing varieties of cereals, there is the group of *landraces* with special value. Propagated and perpetuated regionally by small producers, these have characteristics that have distinction from current homogenic varieties, that arouse nutritional, agronomic and environmental interest. The characterization of these varieties and their adoption in different technologies contributes to the nutritional improvement and innovation of various products, adding value to whole production chain. As well as cereal market, the beer industry is spreading across the globe, and constantly seeking innovations, to distinguish from competitors, achieve new flavors, or for the reduction of manufacturing costs. This represents an opportunity to increase the landrace cereal production chain and satisfy the demand for innovation in the beer market. This researches is to the use of different Iberian's landraces cereals in the beer industry, for production of malt and beer. In addition, this research also aims to optimize the malting process and evaluate the influence of roasting on fatty acids and other volatile compounds present in malt. In general, the produced malts meet the current standards of the brewing industry, with the exception of germination, which presented values reasonably below those reported in literature. In an attempt to optimize the malting of barbela wheat, different malt patterns were obtained; however, significant models were not adjusted. Finally, the influence of roasting on the malt characteristics, with the exception of malt moisture, showed no significant differences for the macrocomponents and fatty acid profile. Regarding the results of the e-nose, a glaring distinction among the evaluated treatments is evident.

Keywords: Malt, beer, innovation, alcohol.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Cereais tradicionais	2
1.1.1	Valorização de cereais tradicionais	3
1.2	Malte	5
1.2.1	Produção de malte	5
1.2.2	Novas tendências para o uso de malte	7
1.3	Cerveja	8
1.3.1	Produção cervejeira	8
1.4	Cereais tradicionais e a indústria cervejeira	11
1.5	Objetivos	12
1.5.1	Objetivos específicos	12
2	Materiais e métodos	13
2.1	Produção do malte de cereais ibéricos	14
2.2	Otimização da malteação de trigo barbela	14
2.3	A influência da torra do malte	16
2.4	Análises bromatológicas	17
2.4.1	Umidade - Matéria seca	17
2.4.2	Extrato padrão	18
2.4.3	Proteína	19
2.4.4	Açúcares redutores	20
2.4.5	Matéria gorda	23
2.4.6	Percentual de germinação	26
2.5	<i>e-nose</i>	26
3	Resultados e Discussão	30
3.1	Produção de malte de cereais ibéricos	30
3.2	A influência do tratamento térmico e malha do crivo sobre o teor de açúcares redutores	35
3.3	Otimização da malteação do trigo barbela	38
3.3.1	Ajuste de modelo e análise de superfície de respostas	41
3.4	A influência da torra do malte	45
3.4.1	Perfil de ácidos gordos	47
3.4.2	<i>e-nose</i>	51
4	Conclusão	58
	Apêndices	68
A	Metilação básica de ácidos gordos	69

B	Obtenção de extrato padrão (<i>congress wort</i>)	70
C	Resultados das repetições	71
C.1	A influência do tratamento térmico e malha do crivo sobre o teor de açúcares redutores	73
C.2	Otimização da malteação do trigo barbeta	74
C.3	<i>e-nose</i>	76

Lista de Figuras

1.1	Proporção entre cereais colhidos em todo o mundo, em 2022.	1
1.2	Série histórica de produção global de diferentes cereais (10^7 t).	2
1.3	Linhas de atuação do Projeto CERTRA.	4
1.4	Fluxograma genérico da produção de malte.	6
1.5	Fluxograma genérico para a produção de cerveja.	9
1.6	Enzimas ativadas durante a mosturação e respectiva atividade amilolítica	10
2.1	Esboço de investigação de cereais tradicionais na indústria cervejeira. .	13
2.2	Parâmetros utilizados durante as etapas da malteação de diferentes cereais tradicionais ibéricos.	14
2.3	Perfil de secagem dos diferentes cereais avaliados.	15
2.4	Delineamento experimental fatorial 2^3 randomizado.	16
2.5	Perfil de secagem dos diferentes cereais avaliados.	17
2.6	Perfil de aquecimento de amostra durante processo de digestão.	19
2.7	Oxidação de açúcares redutores pelo ácido 3,5-dinitrosalicílico, durante o método DNS.	20
2.8	Curva padrão adotada para determinação de açúcares redutores pelo método DNS	21
2.9	Procedimentos do método DNS	22
2.10	Metilação de ácidos gordos	24
2.11	Programa do gradiente de temperatura do forno do a GC	26
2.12	Cromatograma padrão 37-Component FAME Mix da Supelco	27
2.13	Estrutura e diagrama do <i>e-nose</i>	28
2.14	Representação gráfica dos sinais resistivos registrados por sensor durante a análise	28
3.1	Características dos maltes de cereais ibéricos produzidos	30
3.2	Umidade do grão em diferentes etapas da malteação	31
3.3	Índice de Kolbach e conteúdo proteico de malte e mosto padrão dos maltes de cereais tradicionais ibéricos	32
3.4	Percentuais de extrato padrão obtidos dos maltes produzidos	33
3.5	Percentual de grãos germinados no período de ensaio	34
3.6	Gráfico de extremos e quartis para os diferentes tratamentos analisados	36
3.7	Gráfico de extremos e quartis dos diferentes parâmetros de qualidade dos maltes de trigo barbela produzidos	38
3.8	Gráfico de extremos e quartis da umidade ao fim da maceração para os diferentes níveis delineados	40
3.9	Percentuais de umidade dos diferentes maltes produzidos durante a otimização	41
3.10	Percentual de grãos germinados nos diferentes ensaios	41

3.11	Influência das variáveis independentes sobre o extrato	43
3.12	Influência das variáveis independentes sobre o <i>KI</i> (a) e os teores de proteína no malte (b) e mosto (c)	44
3.13	Influência das variáveis independentes sobre os teores de açúcares redutores do malte (a) e mosto (b).	45
3.14	Composição de maltes de centeio ibérico com diferentes torras	46
3.15	Composição de maltes de cevada rabuda com diferentes torras	46
3.16	Cromatograma dos maltes de centeio ibérico com diferentes torras.	48
3.17	Cromatograma dos maltes de cevada rabuda com diferentes torras.	49
3.18	Correlações de Pearson significativas na composição de ácidos gordos dos maltes de centeio ibérico (a) e cevada rabuda (b)	52
3.19	Exemplo dos registros reais do <i>e-nose</i> durante análise dos maltes	52
3.20	Resposta do <i>e-nose</i> para as diferentes torras do malte de centeio ibérico	53
3.21	Amplitude dos registros de CI normalizados para os diferentes tratamentos	54
3.22	Resposta do <i>e-nose</i> para as diferentes torras do malte de cevada rabuda	55
3.23	Resposta do <i>e-nose</i> para as diferentes torras do malte de cevada rabuda	57
C.1	Percentual de grãos germinados nos diferentes ensaios.	74
C.2	Valores reais registrados pelo <i>e-nose</i> durante análise de malte de centeio ibérico com diferentes torras	76
C.3	Valores reais registrados pelo <i>e-nose</i> durante análise de malte de cevada rabuda com diferentes torras	77

Lista de Tabelas

1.1	Glossário de designações de variedades de cereais	3
1.2	Projetos de financiamento do CERTRA	5
1.3	Metabólitos produzidos durante a fermentação e respectivo sabor característico relatado	11
2.1	Níveis das variáveis independentes adotadas na otimização da malteação de trigo barbela.	15
2.2	Análises e metodologias adotadas neste estudo.	18
2.3	Diferentes concentrações de solução de glicose (g/L) e absorbância (540nm) adotadas para determinação da curva padrão	21
2.4	Perfil de ácidos gordos presentes no padrão 37-Component FAME Mix da Supelco, com a respectiva concentração %(m/m)	25
2.5	Especificações dos sensores Figaro presentes no <i>e-nose</i>	29
3.1	Característica bromatológicas dos maltes de cereais tradicionais ibéricos produzidos	31
3.2	Atributos alterados pelo <i>KI</i> em maltes de trigo	33
3.3	Germinação de diferentes cereais para a cervejaria, relatados na literatura	35
3.4	Percentual de germinação de diferentes cereais tradicionais ibéricos	35
3.5	Resultado da ANOVA do efeito de diferentes crivos e infusões no teor de açúcares redutores	36
3.6	Percentuais médios de DNS obtidos nos diferentes tratamentos	37
3.7	Resultados do ajuste por modelos lineares generalizados em relação ao efeito de diferentes crivos e infusões no teor de açúcares redutores	37
3.8	Diferentes parâmetros de qualidade e processo obtidos durante a otimização da malteação de trigo barbela, em percentual	39
3.9	Resultados do modelo ajustado para as variáveis resposta	42
3.10	Parâmetros analisados dos maltes de centeio ibérico produzidos com diferentes torras	46
3.11	Parâmetros analisados dos maltes de cevada rabuda produzidos com diferentes torras	47
3.12	Perfil de ácidos gordos presentes em maltes de centeio ibérico com diferentes torras	50
3.13	Perfil de ácidos gordos presentes em maltes de cevada rabuda com diferentes torras	50
3.14	Coefficiente de variação do perfil de ácidos gordos nos diferentes maltes produzidos	51
C.1	Percentual médio de açúcar redutor em diferentes amostras do malte de trigo barbela	73

C.2	Resultados da análise de superfície para as diferentes variáveis respostas	75
C.3	Resistividade registrada pelo <i>e-nose</i> para diferentes tratamentos de centeio ibérico	78
C.4	Resistividade registrada pelo <i>e-nose</i> para diferentes tratamentos de cevada rabuda	79

Capítulo 1

Introdução

O uso de cereais para alimentação está estreitamente ligado à história humana. Com o início do sedentarismo - em substituição ao nomadismo - e desenvolvimento da agricultura, tem-se o princípio do plantio e seleção de cereais para consumo, arraigando este grupo alimentar na dieta e cultura de diversas etnias por todo o mundo, tornando-se cada vez mais relevante na dieta humana até à atualidade [1, 2].

Estima-se que a energia obtida pelo consumo de cereais represente 44 % das calorias ingeridas diariamente por um indivíduo. Esse montante simboliza o consumo de cerca de 500 g de cereais por dia [3]. Esta relevância se estendeu para outros âmbitos, como na alimentação animal e matéria-prima de outras cadeias de processo, intrincando-se na segurança alimentar, comércio global e mudanças climáticas [4, 5]. Os dados mais recentes mostram que a produção global de cereais ultrapassou as 3 bilhões de toneladas. O milho, trigo, arroz e cevada representam mais de 90 % deste montante (Figura 1.1) [6].

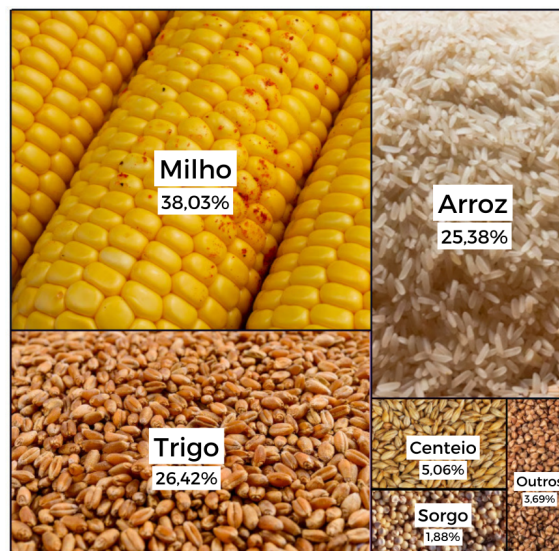


Figura 1.1: Proporção entre cereais colhidos em todo o mundo, em 2022 [6].

Milho, arroz e trigo são os cereais mais produzidos globalmente ao longo de anos (Figura 1.2), sendo alimentos fundamentais e críticos para a alimentação de bilhões de pessoas. No fim da última década, uma a cada três pessoas não possuíam acesso adequado a alimentos. Os cereais são uma boa fonte de nutrientes, podendo auxiliar no acesso à comida de qualidade [1, 4].

Com o aumento populacional estimado para as próximas décadas, calcula-se a

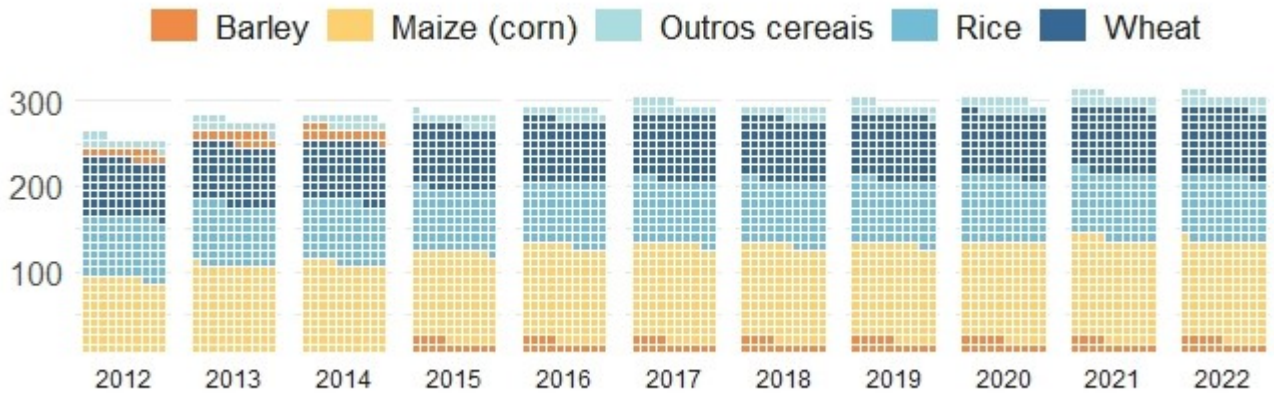


Figura 1.2: Série histórica de produção global de diferentes cereais (10^7t) [6].

necessidade do incremento da produção de cereais em mais de 10 milhões de toneladas para 2030 e mais de 14 para 2050. A preocupação e a garantia da produção de alimentos, incluindo os cereais, são de extrema importância na atualidade, podendo mitigar o impacto do aumento demográfico, mudanças climáticas e conflitos sócio-políticos [4].

Os dados mais recentes mostram que a Comunidade Europeia (CE) foi responsável por menos de 9 % da produção mundial de cereais. Destacam-se as produções de trigo, milho e cevada, que somam quase 90 % do montante total. Portugal colheu menos de 0,5 % de todos os grãos na CE [6, 7]. Visto a importância dos cereais para a alimentação, o comércio global e políticas de incentivo ofertados pela CE, Portugal vislumbra uma oportunidade de aumentar sua produção, agregando valor pela qualidade dos produtos ofertados.

1.1 Cereais tradicionais

Na aurora da agricultura, a seleção e o replantio das culturas ocorriam por meio do conhecimento empírico, baseado nos atributos valorizados por cada população, como resistência às pragas, desempenho e adaptação ao local de ocupação. Deste fato, deu-se origem a diversas variedades de um mesmo grão, diferidas principalmente pela sua composição e características edafoclimáticas.

A estes cereais, selecionados e produzidos em especificidades sociais, culturais e geográficas, dá-se o adjetivo de tradicional, ou seja, entende-se como cereal tradicional, aquele originado e multiplicado historicamente por agricultores de forma dinâmica, de identidade distinta, localmente adaptado e geneticamente distinto [8, 9].

Há um certo impasse no uso de termos para designar cereais tradicionais na literatura, sendo comum o uso e associação de outras terminologias, tanto em português (cereais antigos), quanto em inglês (*landraces*, *heritage cereals*, *heirloom varieties*). O mesmo ocorre para a compreensão das nuances entre os diferentes termos [9, 10]. A Tabela 1.1 apresenta alguns termos e definições propostos por diferentes autores.

Com a evolução da agronomia, o advento da revolução verde e o comércio global

Tabela 1.1: Glossário de designações de variedades de cereais [10, 11].

Termo	Definição proposta
Selvagem	Cresciam naturalmente, em especial no <i>Mundus Vetus</i> (Afro-Eurasia), antes de qualquer forma de cultivo e domesticação de plantas
Domesticada	Selecionadas pela diferenciação benéfica e espontânea de espécies cultivadas ou selvagens
Antigo	Não sofreram qualquer seleção ou forma de hibridização moderna, ainda apresentam características primitivas, como falta de homogeneidade e baixo índice de colheita
Tradicional	Obtido pela seleção natural e humana, extremamente adaptados as características edafoclimáticas do local de produção, ainda apresentando heterogeneidade genética
Modernas	Resultantes do melhoramento genético, por meio de técnicas avançadas de hibridização, sendo geneticamente estáveis e homogêneas
Tradicionalis modernas	Híbridos heterogêneos com melhoramento e seleção contínuas as condições de produção

Nota: Termos obtidos por tradução livre da língua inglesa.

dos grãos, surgem os cereais híbridos, melhorados, de alto rendimento. São grãos "padronizados", com boa produtividade, resistência a pragas - ou a substâncias que as combatam - e adaptabilidade a solos e climas especificados. Desta forma, os diferentes cereais tradicionais perdem a sua predominância, dando lugar a grãos com maior homogeneidade e tecnologia agrícola [12, 13].

Se por um lado, este avanço tecnológico nos permitiu atender à crescente procura por alimentos e matérias-primas provenientes da industrialização e do aumento populacional, por outro, houve a perda de características relevantes, não só no âmbito agrícola, mas também no genético, nutricional e cultural. Apesar da menor produtividade, quando comparados com variedades melhoradas, os cereais tradicionais são tecnicamente valorizados pela sua adaptabilidade e tolerância às condições de plantio mais severas [9, 14, 15].

1.1.1 Valorização de cereais tradicionais

Além do valor histórico e cultural, a recuperação da produção e consumo de cereais tradicionais é uma alternativa para a inovação e melhoramento nutricional de produtos alimentícios e mitigação do impacto das mudanças climáticas frente à produção agrícola. Cereais tradicionais são reconhecidos pela variabilidade genética e pela sua resiliência ao estresse ambiental [16, 17, 18, 19].

Além do seu plantio direto em condições edafoclimáticas pouco favoráveis, esse grupo de cereais pode ser adotado na obtenção de variedades *tradicionais modernas*, melhor adaptadas às futuras condições climáticas [11, 16, 20].

Considerando o cenário atual europeu, estima-se que a recuperação do plantio de variedades tradicionais de alimentos vegetais será basilar na estratégia agrícola de longo prazo da Europa, auxiliando as próximas gerações de agricultores [21].

O projeto CERTRA

CERTRA é um acrônimo de cereais tradicionais e denomina o projeto de valoração da cadeia produtiva de cereais tradicionais ibéricos, em especial, milho, trigo e centeio. Atuando em diversos âmbitos da cadeia de produção (Figura 1.3).



Figura 1.3: Linhas de atuação do Projeto CERTRA.

Tem como objetivo divulgar, investigar, caracterizar e fomentar toda a cadeia de cereais tradicionais da península ibérica (Tabela 1.2) desenvolvendo variados derivados com valor agregado. Produtos alimentícios e cosméticos originados a partir destes cereais são resultados conquistados nesse projeto. Atualmente, estão a desenvolver-se e avaliar diferentes tipos de pão, biscoitos, maltes e cervejas como incremento à cadeia dos cereais tradicionais.

Este processo de investigação e desenvolvimento também ocorre associado e apoiado por organizações de fomento, consultoria e desenvolvimento rural, produtores, cerealistas e moinhos, além de diversas instituições de ensino-investigação. Dentre as próximas etapas, procura-se estabelecer parcerias para a elaboração de um livro de receitas tradicionais da península ibérica e do mediterrâneo com a utilização dos cereais tradicionais, de forma a estimular o consumo na alimentação cotidiana.

Tabela 1.2: Projetos de financiamento do CERTRA

Linha de ação	Descrição
Consumo	Identificar e propor estratégias de mercado para promoção do consumo de cereais tradicionais e seus produtos transformados, enfatizando a segurança alimentar e a saudabilidade
Produção	Caracterizar e promover métodos de autenticação para os cereais tradicionais
Dieta Mediterrânea	Identificar variedades tradicionais de milho, trigo e centeio para promoção e valorização da dieta mediterrânea
Comunicação	Fomento do projeto, importância e benefícios do consumo de cereais tradicionais na alimentação humana

1.2 Malte

O malte é uma matéria-prima essencial para a produção de diversas bebidas, incluindo a cerveja. Obtido da germinação parcial e controlada de cereais, o processo de maltagem promove reações bioquímicas nos grãos, aumentando a atividade enzimática, alterando características sensoriais e a composição de hidratos de carbono, deste modo, favorecendo, deste modo, a atividade das leveduras.

Tradicionalmente, o termo malte era associado ao produto obtido exclusivamente a partir de grãos de cevada, todavia, tal exclusividade não faz sentido, visto que o perfil de alterações ocasionadas pelo processo de malteação também ocorre em outros cereais, sendo assim necessário especificar qual o cereal utilizado na elaboração do malte [22]. Os cereais em que podem ocorrer as alterações bioquímicas específicas denominam-se cereais maltáveis.

1.2.1 Produção de malte

O processo de malteação pode parecer bastante simples, no entanto, ao ser analisado de maneira mais profunda, constata-se a sua complexidade. Por meio de três operações unitárias (Figura 1.4), variando os parâmetros processuais, é possível a obtenção de uma infinidade de maltes. Os processos básicos são maceração, germinação e secagem, entretanto, na malteação também se podem incluir etapas de limpeza e polimento. Estes processos, em conjunto, são necessários para a produção de malte com padrão de qualidade elevado.

Historicamente, a malteação ocorria de forma empírica, manual e sem o uso de instrumentos robustos de controle. No século XIX, inicia-se a mecanização do procedimento e o melhor entendimento das variáveis de processo através do conhecimento científico, tornando possível o estabelecimento de metodologias robustas com a padronização e o aumento da qualidade do malte produzido [23].

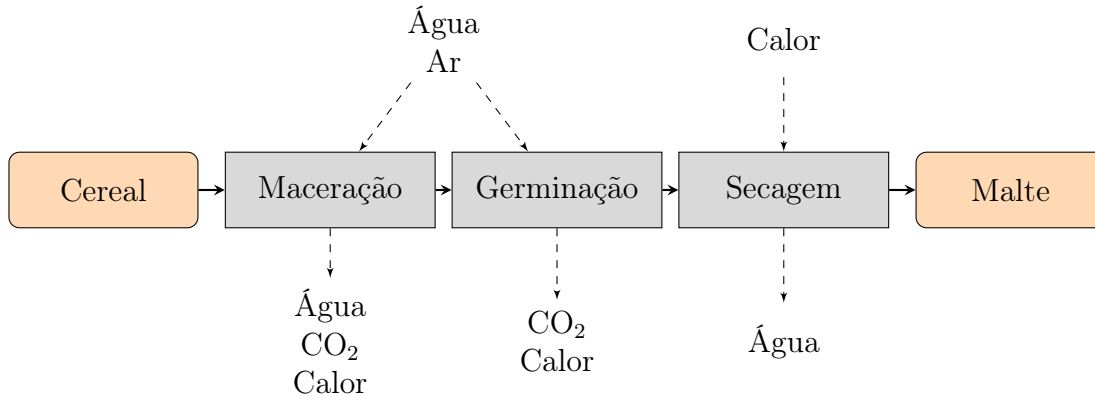


Figura 1.4: Fluxograma genérico da produção de malte [23].

Maceração

A etapa inicial da malteação consiste na hidratação dos grãos e ocorre em alternância de fases, úmida e seca. Ambas as fases intercalam-se quantas vezes forem necessárias para garantir que o grão atinja a umidade com oxigenação necessárias. Na fase úmida, os grãos são mantidos em tanques aerados por borbulhamento e submersos em água, de modo que ocorra aumento do seu teor de umidade e atividade metabólica (respiração). Na fase seca, os grãos são emersos e ventilados, garantindo a oxigenação e a dissipação do calor e CO_2 produzidos pela respiração [23, 24].

Parâmetros do processo, como temperatura, umidade final do grão e duração e número de repetições de cada fase dependem do cereal processado e dos equipamentos adotados, todavia, não é comum que este avance para as próximas etapas com umidade inferior a 40 %.

A fase úmida da maceração também pode auxiliar na limpeza do cereal, transportando sujidades como poeiras, palhas, pedriscos ou outros sólidos que porventura tenham permanecido dentre os grãos [24].

Germinação

O processo de germinação consiste no brotamento controlado do cereal. Fornecidas as condições necessárias, ocorre - naturalmente - a quebra da dormência das sementes (cereais) com aumento da atividade metabólica e respiração vegetal para o desenvolvimento de uma planta. Inicia-se com desenvolvimento da radícula, sinalizando o início do brotamento, esta etapa comumente tem vários dias de duração. O comprimento da radícula em relação ao grão é uma medida adotada para determinar o fim desta etapa [23, 25].

Existem diversos métodos para realizar a germinação, mas de forma geral, após atingirem a umidade necessária, o excesso de água é drenado e os grãos são mantidos em leitos, sendo revolvidos frequentemente. O processo de revolvimento evita a compactação, auxilia na oxigenação e troca gasosa, garantindo a homogeneidade do malte [23, 24].

A umidade dos grãos, a temperatura e a ventilação são parâmetros facilmente

controlados nesta etapa, tendo expressiva influência no tempo de processo e a extensão das alterações bioquímicas. Todavia, a presença de compostos que inibam o processo de germinação e a composição atmosférica, em especial a concentração de CO₂, também são fatores relevantes [26].

Nesta etapa ocorrem transformações expressivas no cereal. A quebra da dormência do grão e consequente brotamento ocasionam diversas alterações bioquímicas [26]. Para a produção cervejeira, o aumento da atividade enzimática e a quebra do amido em glicose, maltose e sacarose são as alterações de maior importância.

Secagem

Esta etapa tem como objetivo principal cessar o processo de germinação e reduzir o teor de umidade do malte verde. O calor é fornecido por fluxo de ar aquecido, garantindo a redução da umidade dos grãos a valores inferiores a 10 % [24, 25].

É comum que a secagem também ocorra em fases, iniciando com temperaturas baixas que progridem periodicamente. Os binômios tempo e temperatura nas diferentes fases da secagem dependem das características desejadas no produto final, visto que a secagem é determinante para a atividade diastática, coloração, sabor e aroma do malte [23].

Outras etapas

As etapas de limpeza, classificação e polimento também são comuns na produção de malte, sendo importantes para a garantir a qualidade e padronização do produto final. Pode ocorrer uma etapa limpeza inicial, consistindo simplesmente na remoção de qualquer material diferente do cereal íntegro. A separação do material estranho pode ser feita pela diferença de tamanho, forma e/ou densidade, podendo ainda contar com separadores magnéticos para a remoção de materiais metálicos.

Posteriormente, após a secagem, passa a ser necessária uma nova etapa de limpeza, para que sejam retiradas as radículas que resistiram ao processo de secagem. Esta remoção é feita por atrito e peneiramento. A permanência da radícula não apresenta qualquer benefício a produção do mosto cervejeiro e pode ter valor comercial como coproduto, dependendo da sua composição [25, 27, 28, 29].

1.2.2 Novas tendências para o uso de malte

Apesar do malte estar associado à produção de bebidas, há estudos que investigam o seu uso em outros processos tecnológicos da indústria alimentícia, demonstrando diversas vantagens sensoriais e nutricionais [30, 31, 32]. Cereais germinados e malte vêm sendo avaliados como forma de enriquecer pães, biscoitos, macarrão e até em bebidas funcionais. Em suma, produtos onde farinhas podem ser adotadas como ingrediente ou aditivos [33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40].

O interesse no uso de malte para a elaboração de alimentos com maior saudabilidade surge das alterações bioquímicas ocasionadas durante a germinação. A redução do teor de fitatos, incremento nos teores de vitaminas e compostos bioativos, aumento da

biodisponibilidade de minerais, além de favorecer a digestibilidade - devido à hidrólise de polissacarídeos e proteínas - são alterações benéficas que contribuem para a elaboração de alimentos saudáveis e naturais [26, 41, 42, 43, 44, 45].

1.3 Cerveja

O consumo de cerveja data de 6.000 AC, na Mesopotâmia, atualmente a bebida é consumida na maior parte do globo. É uma bebida alcoólica obtida a partir da fermentação do mosto de cereal maltado. De perfil sensorial variado, a cerveja resulta do conjunto de ingredientes e processos adotados no seu fabrico [46, 47].

Na tradição alemã, a cerveja era produzida com apenas três ingredientes: Malte de cevada; Lúpulo, e; Água. Entretanto, podem ser utilizados uma infinidade de ingredientes e adjuvantes, o que também contribui para a obtenção de bebidas com perfis sensoriais variados. Em 2021, foram especificados e caracterizados mais de 100 estilos de cerveja pela *Beer Judge Certification Program* (BJCP) [48, 49, 50].

A boa aceitação da cerveja em diversas culturas, faz com que seja um produto de grande interesse mercadológico, onde a busca pela inovação e redução dos custos de produção são constantemente investigados. A avaliação de diferentes adjuntos pode ocorrer nestes dois âmbitos, reduzir custos e diferenciar o produto da concorrência [51].

Atualmente, a cerveja é a bebida alcoólica mais popular e consumida em todo o mundo, com produção de mais de 1,9 bilhões de hectolitros anualmente, à mais de uma década [52, 53, 54].

A produção cervejeira na Europa ultrapassou os 400 mil hectolitros em 2019, sendo Portugal responsável por menos de 2 % desta produção. No que tange o consumo, no mesmo período, foram consumidos 385 mil hectolitros em todo o continente e 5 mil hectolitros em terras lusitanas. Em média cada cidadão português consome 53 L de cerveja anualmente, dando ao país a 20^o posição dentre os maiores consumidores da bebida dentre os europeus [55].

Apesar de não estar entre os principais consumidores europeus, é importante destacar que o número de cervejarias e microcervejarias ativas em Portugal cresceu na última década [55].

1.3.1 Produção cervejeira

Produzida desde a antiguidade e por diversas culturas, o processo de elaboração da cerveja sofreu diversas alterações, seja pelos avanços tecnológicos, seja pelos ingredientes e aditivos utilizados. Ainda assim, um processo genérico para a produção da cerveja pode ser definido em quatro etapas (Figura 1.5): moagem do malte; mosturação; tratamento térmico; fermentação [54].

Durante a mosturação, há ativação das enzimas endógenas do malte, responsáveis pela sacarificação do amido, convertendo-o em açúcares de menor peso molecular, como maltose, glicose, frutose, sacarose, dextrinas e outros. Diversas enzimas estão envolvidas neste processo, sendo a temperatura um fator de especial importância. A adoção de rampas de aquecimento nesta etapa visa otimizar a ação destas enzimas. A Figura

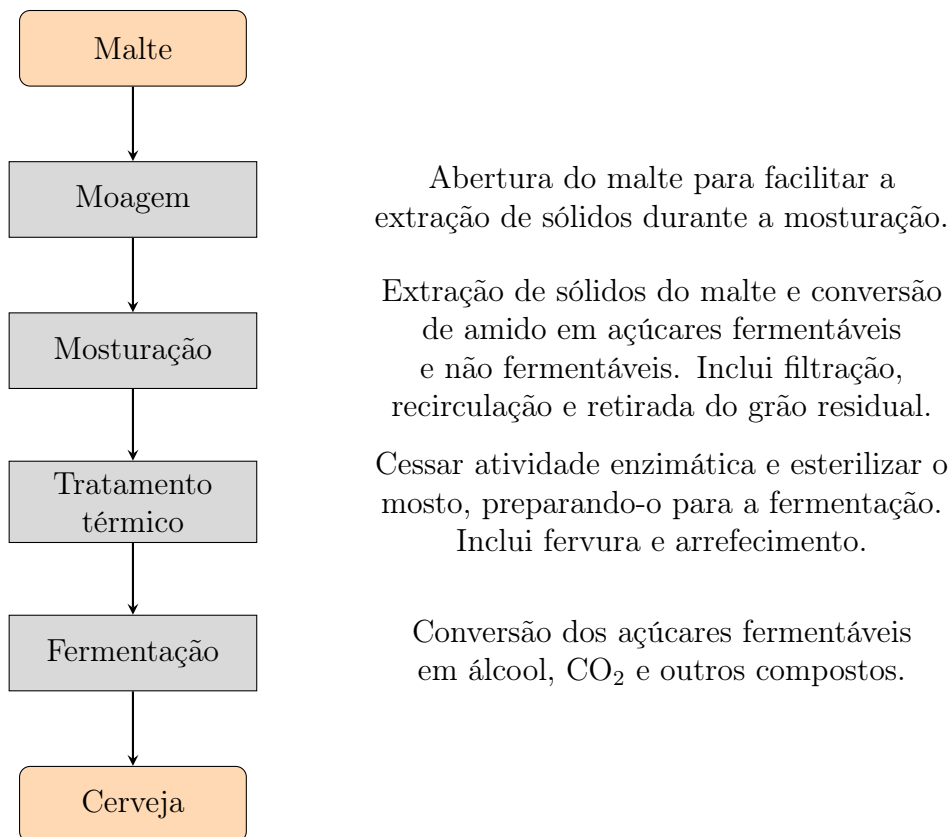


Figura 1.5: Fluxograma para a produção de cerveja [54].

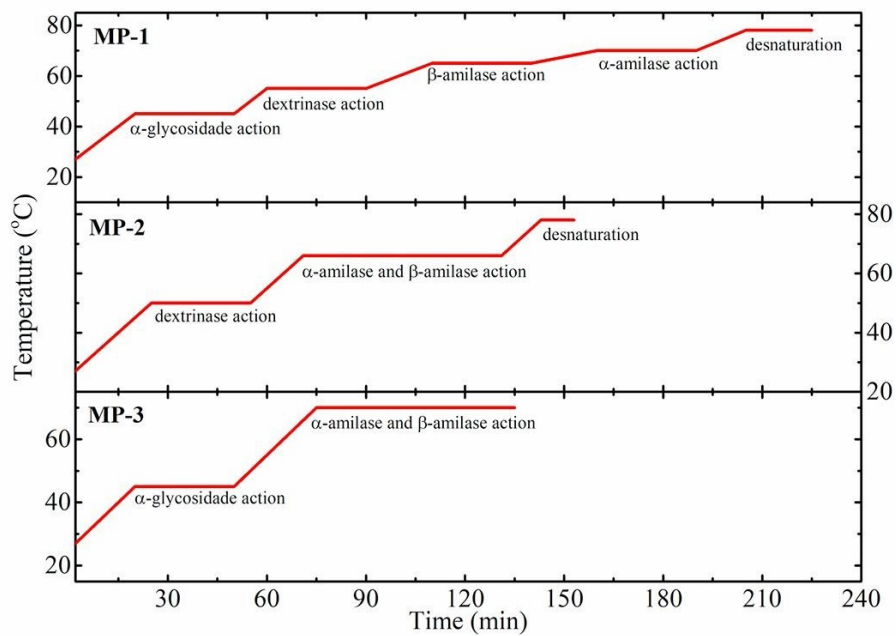
1.6 apresentam diferentes processos de mosturação, as enzimas de maior atividade e as reações bioquímicas que sucedem [56].

O perfil de açúcares obtidos é de extrema importância para a qualidade do produto final, pois além de garantir o substrato para a fermentação alcoólica, quando a quantidade de açúcares não fermentáveis (dextrinas) é elevada, podem ocasionar o surgimento de aromas indesejáveis (*off-flavors*) [52].

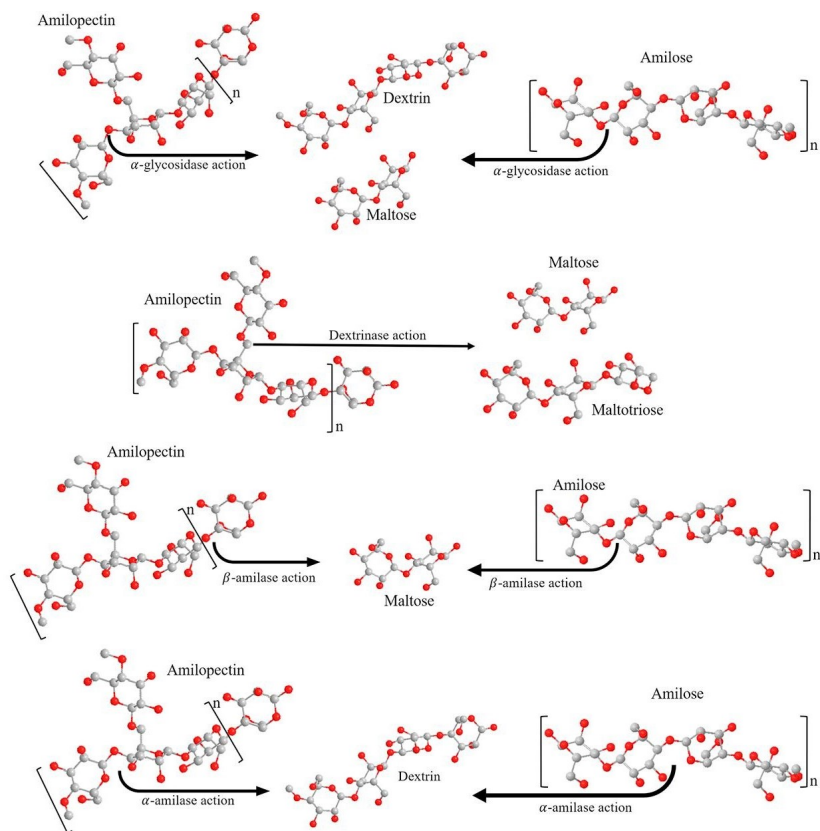
Além dos *off-flavors*, os açúcares não fermentáveis podem prejudicar o processo de mosturação, causando o aumento da viscosidade, formando géis, dificultando a filtração, resultando num mosto turvo e com baixo rendimento [57].

As enzimas responsáveis pela sacarificação são inativadas pela fervura do mosto. Além disso, as altas temperaturas ocasionam a concentração do mosto, redução do pH, precipitação proteica e escurecimento do mosto (caramelização e/ou reação de Maillard). Outros ingredientes, como lúpulo, podem também ser adicionados nesta etapa. A ebulição também contribui para a extração de compostos de interesse destes ingredientes [25, 54].

O processo de fermentação é responsável pela conversão de alguns açúcares em etanol e CO₂. A temperatura, tempo, grau alcoólico obtido e gaseificação são intrínsecos à levedura adotada nesta etapa. A atividade metabólica da levedura também pode gerar outros compostos de sabor e aroma, importantes para as características sensoriais da cerveja. Na Tabela 1.3 apresenta-se uma lista de compostos que podem ser gerados



(a) Perfil de aquecimento durante a mosturação e atividade enzimática favorecida



(b) Reações enzimáticas do amido durante a mosturação e seus respectivos produtos

Figura 1.6: Enzimas ativadas durante a mosturação e respectivas reações amilolíticas [56].

durante a fermentação e a característica sensorial atribuída [25, 54, 58].

Tabela 1.3: Metabólitos produzidos durante a fermentação e respectivo sabor característico relatado [58].

Metabólito	Sabor característico
1-Propanol	Álcool, doce e frutado
2-Metil 1-butanol	Álcool, vinho e malte
2-Metil 1-propanol	Frutado, whisky e vinho
Feniletil álcool	Floral e mel
Heptanoato de etila	Bagas, frutos tropicais e ameixa
Octanoato de etila	Floral, frutado, doce, banana, pera, damasco, anis, maçã e abacaxi
Ácido láctico	Acre
Ácido acético	Azedo
Ácido pirúvico	Azedo
Ácido fórmico	Azedo
Ácido cítrico	Azedo e suco de limão

Tradicionalmente, as leveduras são adicionadas ao mosto esterilizado para que ocorra a fermentação. No entanto, o uso de bactérias pode ser adotado em alguma fase do processo de fermentação, para obtenção de alguma característica específica [58, 59].

O rendimento da produção e as características sensoriais do produto final são um reflexo dos microrganismos que conduzem a fermentação, da matéria-prima adotada e dos parâmetros de cada uma das etapas referidos anteriormente. Todo este conjunto permite um universo de investigação e inovação para obtenção de cervejas singulares para apreciação de diferentes públicos e paladares.

1.4 Cereais tradicionais e a industria cervejeira

A aceitação da cerveja em todo o globo, torna-a alvo de diversas tarefas de inovação. A busca por novas experiências sensoriais, destaque dentre os concorrentes e a redução dos custos produtivos estimula a criatividade de cervejeiros em diversas escalas produtivas [52, 54].

No que diz respeito ao malte cervejeiro, além da diferenciação de maltes clássicos, obtidos de trigo, centeio e cevada, investiga-se a produção do malte de cereais pouco usuais, como o sorgo, aveia e quinoa. Outros estudos dedicam-se a produção de malte de variedades tradicionais de cereais [18, 19, 41, 60, 61, 62].

Além de revigorar o mercado cervejeiro, o uso de variedades tradicionais de cereais também contribui para a valorização, preservação e consolidação deste grupo de grãos típicos no mercado cerealista como um todo, incentivando produtores e despertando o interesse de consumidores [21, 9].

1.5 Objetivos

Esta investigação pretende produzir e caracterizar diferentes maltes a partir de cereais tradicionais ibéricos, visando a aplicação à indústria cervejeira.

1.5.1 Objetivos específicos

Além da avaliação global de maltes e cervejas produzidas com uso de cereais tradicionais ibéricos, pretende-se:

- Produzir e caracterizar maltes de cereais tradicional ibérico;
- Monitorar o processo de malteação dos cereais tradicionais ibéricos;
- Otimizar o processo de malteação de trigo barbela;
- Avaliar a influência do tempo e da temperatura de torra na qualidade dos maltes de cevada rabuda e centeio ibérico.

Capítulo 2

Materiais e métodos

Para fomentar o processo de uso de cereais ibéricos na indústria cervejeira, realizaram-se os processos descritos neste capítulo, adotando-se grãos de cevada rabuda (CR), trigo barbela (TB) e centeio ibérico (CI), fornecidos e beneficiados em 2024 por produtores e cerealistas portugueses afiliados ao projeto CERTRA. A síntese desta investigação do uso de cereais tradicionais ibéricos na indústria cervejeira é apresentada na Figura 2.1. Os ensaios realizados consideraram a disponibilidade de matéria-prima (cereal), tempo disponível e pertinência dos resultados.

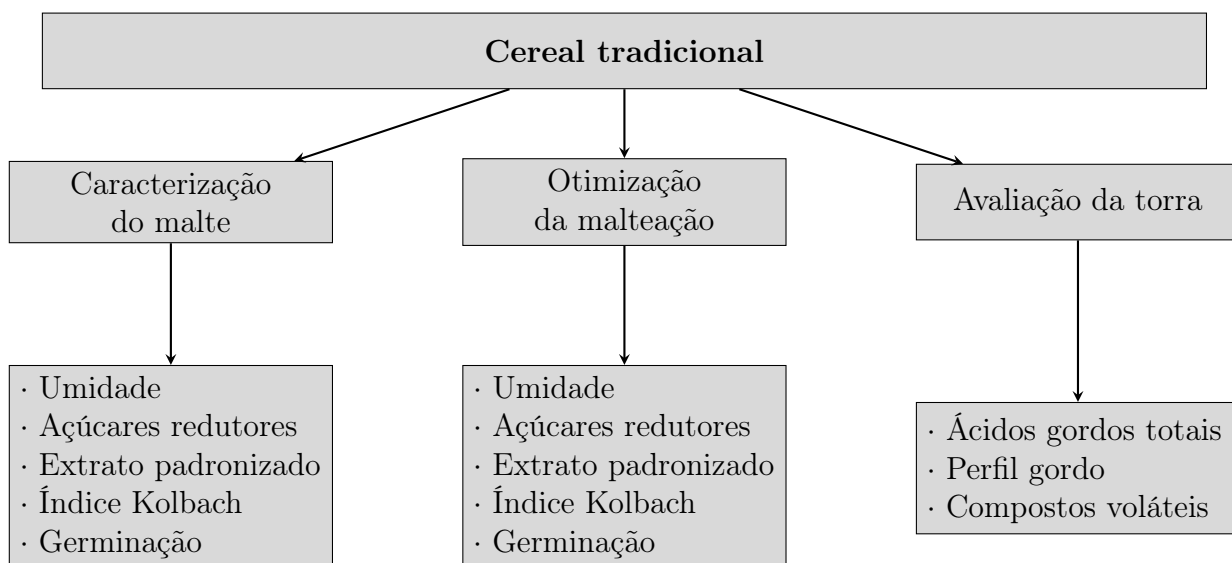


Figura 2.1: Esboço de investigação de cereais tradicionais na indústria cervejeira.

Neste sentido, produziu-se malte a partir de variedades tradicionais dos cereais citados (CR, CI e TB), sendo avaliadas características de interesse para a indústria cervejeira (Seção 2.1). Também foi realizada a otimização do processo de malteação para o trigo barbela (Seção 2.2). Por fim, também avaliou-se a influência da sobre o perfil de ácidos gordos e compostos voláteis dos maltes de CR e CI (Seção 2.3).

As metodologias dos ensaios bromatológicos adotadas nesta investigação são descritas na Seção 2.4. Todos os resultados experimentais obtidos nesta investigação foram estatisticamente avaliados através da linguagem R e bibliotecas pertinentes [63].

2.1 Produção do malte de cereais ibéricos

Maltes de diferentes cereais tradicionais foram produzidos conforme etapas apresentadas na Figura 1.4, adotando-se parâmetros próprios para cada cereal, conforme indicação da literatura [18, 19, 64]. A síntese dos parâmetros adotados durante a malteação de cada cereal é apresentada na Figura 2.2. O perfil de secagem é melhor detalhado na Figura 2.3.

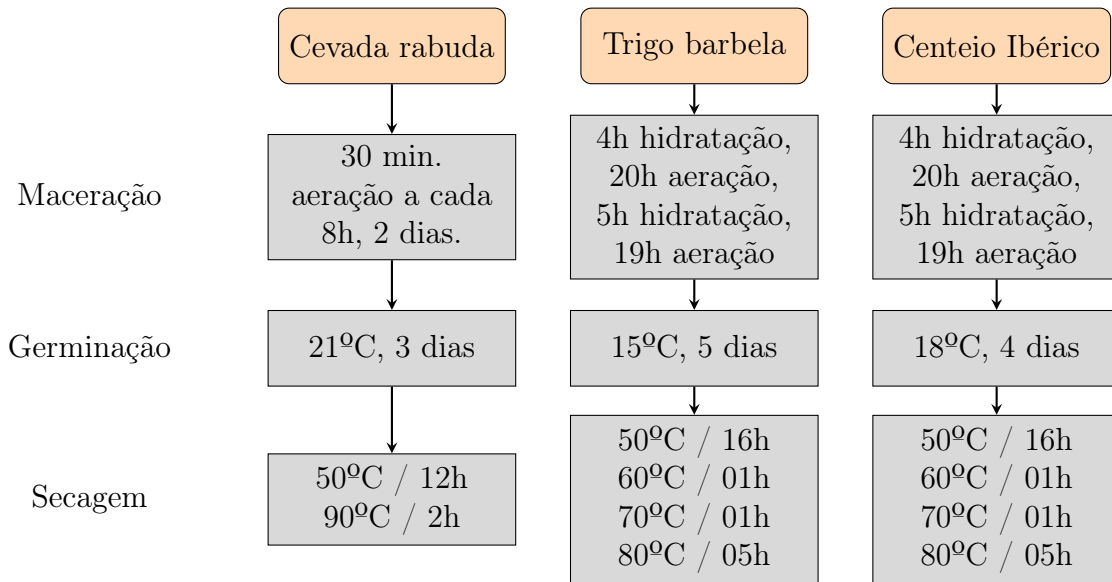


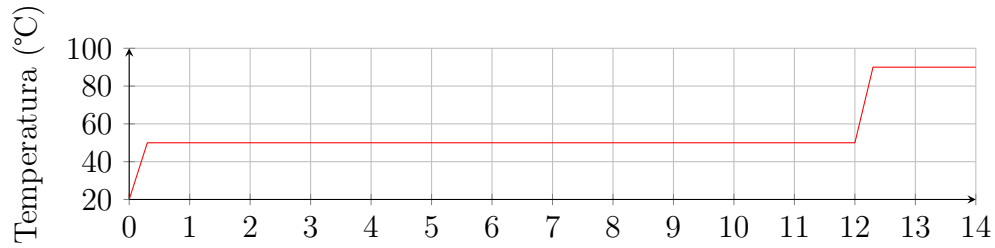
Figura 2.2: Parâmetros utilizados durante as etapas da malteação de diferentes cereais tradicionais ibéricos.

Após a limpeza inicial, iniciou-se a maceração com água destilada, em temperatura ambiente, pelo tempo programado e obtenção da umidade almejada. Periodicamente, o cereal era drenado, realizando ciclos de aeração e troca da água. O cereal hidratado foi germinado em estufa com temperatura controlada, pelo tempo delineado, com agitação e aeração regular. Para cessar o processo de germinação, o cereal foi seco em estufa distinta, com controle de temperatura e ventilação forçada.

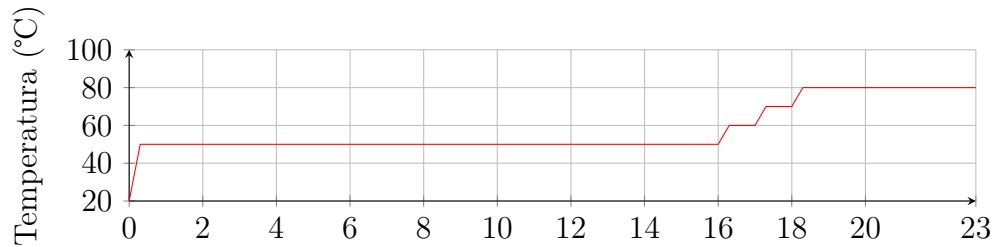
Cada processo de malteação iniciou com aproximadamente 600g de cereal e água destilada suficiente para cobri-los. Durante a etapa de germinação, o percentual de grãos germinados foi determinado diariamente. Antes do início da malteação e com o término das etapas de maceração e secagem, a umidade do produto também foi determinada. O malte obtido foi armazenado em sacos selados para posterior determinação do extrato padrão, índice de Kolbach e teor de açúcares redutores.

2.2 Otimização da malteação de trigo barbela

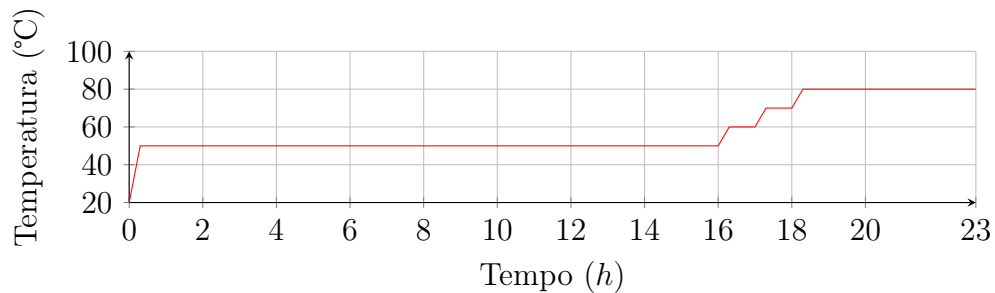
A otimização da malteação do trigo barbela foi realizada por meio da metodologia de superfície de resposta (RSM), adotando-se o delineamento experimental fatorial 2^3 randomizado, considerando o efeito de três parâmetros durante a malteação: umidade



(a) Cevada rabuda [64]



(b) Trigo barbela [19]



(c) Centeio ibérico [18]

Figura 2.3: Perfil de secagem dos diferentes cereais avaliados.

final da maceração (%), tempo (d) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) durante a germinação. Durante a otimização, os procedimentos de malteação foram os mesmos descritos na Seção 2.1, adequando-se apenas os parâmetros adotados como variáveis independentes.

Ao todo, foram realizados 18 ensaios em desenho composto central (Figura 2.4) com $\alpha \pm 1$ e quatro pontos centrais para ajuste do modelo. Os intervalos para cada uma das variáveis independentes (Tabela 2.1) foram os mesmos adotados em estudo similar [18].

Tabela 2.1: Níveis das variáveis independentes adotadas na otimização da malteação de trigo barbela.

Variável independente	Unidade	Código	Níveis		
			-1	0	+1
Umidade após maceração	%	A	40	43	46
Temperatura de germinação	$^{\circ}\text{C}$	B	12	15	18
Tempo de germinação	Dias	C	04	05	06

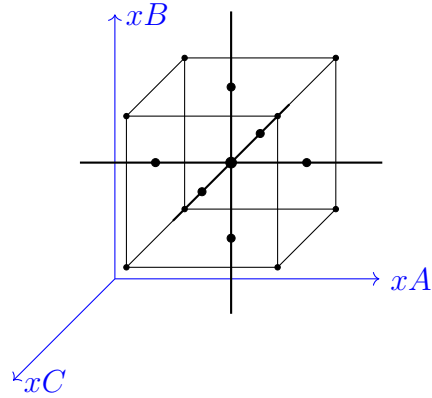


Figura 2.4: Delineamento experimental composto central fatorial 2^3 randomizado.

Dos diferentes maltes produzidos, foram determinados o extrato padrão, índice de Kolbach e teor de açúcares redutores. Quando atingida a significância dos ajustes, o modelo obtido por RSM foi analisado. A regressão polinomial multivariada foi adotada para descrever a relação entre as variáveis dependentes e independentes. Para tanto, e análises posteriores, a Equação 2.1 foi implementada [65]:

$$rsm = Y \sim FO(xA, xB, xC) + TWI(xA, xB, xC) + PQ(xA, xB, xC), \text{ dados} \quad (2.1)$$

Onde Y representa a variável independente; FO, TWI e PQ são - respectivamente - as funções lineares, a interação bidirecional (*two-way interaction*) e quadrática pura; x_A , x_B e x_C são as variáveis independentes, conforme exposto na Tabela 2.1, e; dados representa a matriz (Tabela 3.8) contendo as informações pertinentes dos ensaios realizados.

2.3 A influência da torra do malte

Nesta etapa da investigação, considerou-se como torra, o último estágio da etapa de secagem durante a malteação, patamar de maior temperatura. Desta forma, houve a produção de novos maltes de cevada rabuda e centeio ibérico, conforme apresentado na Figura 1.4, alterando-se apenas o tempo ou a temperatura da torra.

Para os maltes obtidos a partir de cevada rabuda, avaliou-se a influência do tempo de torra, ou seja, atingida a temperatura de torra, coletaram-se amostras em diferentes tempos (Figura 2.5a); para o centeio ibérico, a influência da temperatura (Figura 2.5b).

O conteúdo total de matéria gorda dos maltes com diferentes torras foi obtido por extração sólido-líquida, com realização da reação de metilação básica posterior (Seção 2.4.5). Desta forma, foi possível obter ésteres metílicos de ácidos gordos e quantificação por GC. Além disso, as amostras foram analisadas pelo *e-nose* (Seção 2.5) nos diferentes tratamentos para cada uma das torras.

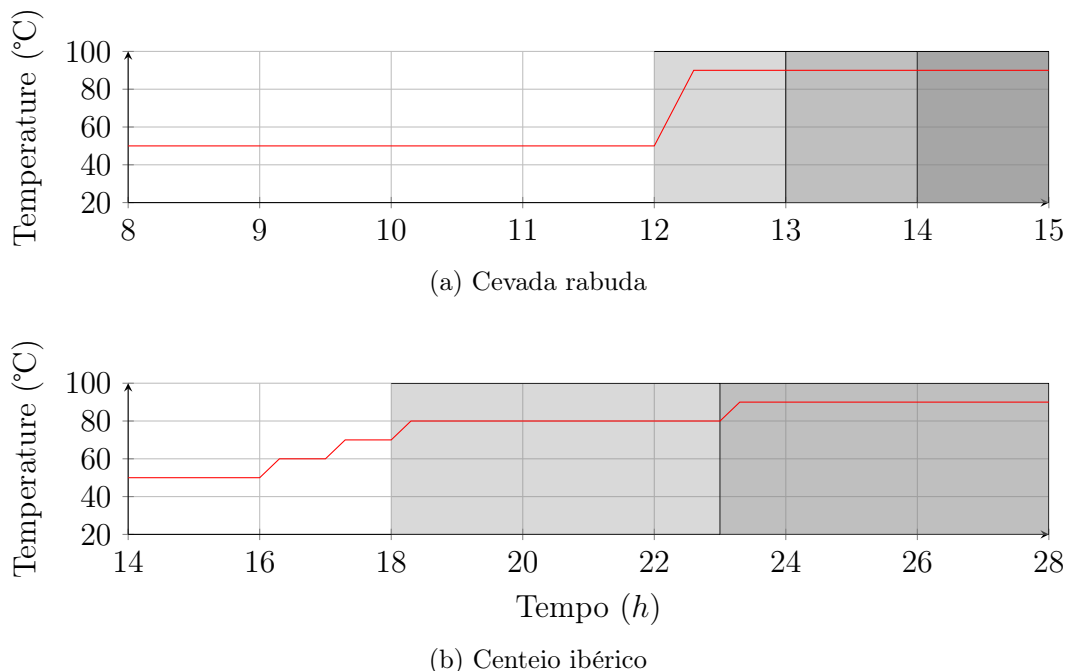


Figura 2.5: Perfil de secagem dos diferentes cereais avaliados. Tons de cinza distintos representam pontos de amostragem experimental distintos.

2.4 Análises bromatológicas

A determinação da composição do malte e do mosto obtido a partir deste é de extrema importância para a garantia da qualidade do produto final e eficiência do processo de malteação, bem como para orientar a produção de mestres cervejeiros, seja para definição das quantidades dos diferentes maltes a serem utilizados, seja para adequação do malte ao estilo de cerveja a ser produzido.

As metodologias adotadas para determinar a composição dos diferentes maltes produzidos estão sintetizadas na Tabela 2.2, sendo os procedimentos realizados melhor detalhados nas secções que seguem. Todas as análises aqui apresentadas foram realizadas pelo menos em duplicata. Quando entendida a necessidade pelos investigadores, foram analisadas um maior número de replicas.

2.4.1 Umidade - Matéria seca

Esta análise assentada na remoção da umidade da amostra pela evaporação da água. A determinação da umidade ($\%U$) e matéria seca ($\%m_{seca}$) ocorreu em estufa de secagem, a 105°C até obtenção de massa constante [66].

Em recipiente previamente identificado e dessecado, com a respectiva massa (m_{tara}) registrada, acondicionou-se aproximadamente 2g de amostra ($m_{inicial}$). O conjunto foi aquecido em estufa à 105°C , sendo periodicamente retirado para determinação da massa, retornando ao aquecimento posteriormente. Antes de tal determinação, a amostra permanecia ao menos 15 minutos em exsiccador para resfriar em temperatura

Tabela 2.2: Análises e metodologias adotadas neste estudo.

Análise	Metodologia	Referência
Matéria seca	Secagem direta em estufa	[66]
Extrato padrão	Mosturação padronizada	422/IV - AL [66]
Proteína	Determinação de azoto total - Kjeldahl	AOAC-950.09 (adaptado) [67]
Açúcares redutores	Reação com DNS	[68, 69]
Ácidos gordos totais	Extração sólido-líquida em Soxhlet	[70]
Perfil de ácidos gordos	Determinação de ésteres metílicos - GC	[71]
Percentual de germinação	Contagem de grãos selecionados	[69]
Compostos voláteis	Nariz eletrônico	Sem referência

ambiente.

Tal procedimento ocorreu até obtenção de massa constante da amostra (m_{final}). A determinação do teor de matéria seca ($\%m_{seca}$) e umidade ($\%U$) foi efetuada pelas Equações 2.2 e 2.3, respectivamente.

$$\%m_{seca} = \frac{m_{final} - m_{tara}}{m_{inicial}} \quad (2.2)$$

$$\%U = 1 - m_{seca} \quad (2.3)$$

2.4.2 Extrato padrão

Também chamada de mosto congresso (*congress wort*), esta metodologia pretende elucidar o rendimento e a quantidade de sólidos transferidos do malte para o mosto cervejeiro, em procedimento definido. O processo de mosturação se assemelha a infusão, onde há transferência de massa entre as fases líquida e sólida. Deste modo, a agitação, a temperatura, a relação de massa entre as fases, bem como, o tempo em que essas permanecem em contato, influenciam as características da solução final (mosto).

Se definido um procedimento de mosturação, é possível comparar mostos, em especial pela capacidade de transferência de massa. O resultado é expresso em $\%Extrato$, sendo determinado pela relação entre a densidade e massa seca do mosto obtido, conforme Equação 2.4.

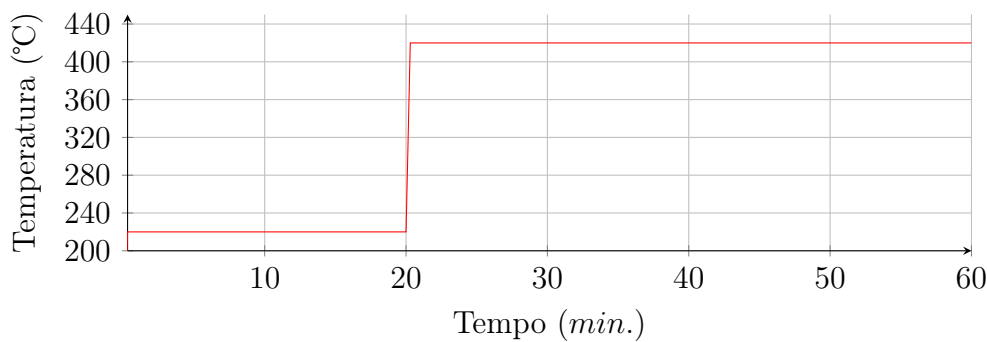
$$\%Extrato(m/m) = \frac{d * (800 + U)}{100 - d} \quad (2.4)$$

Onde d e U correspondem - respectivamente - a densidade e ao percentual de umidade do mosto obtido. O processo adotado nesta investigação [66] é detalhado no Apêndice B.

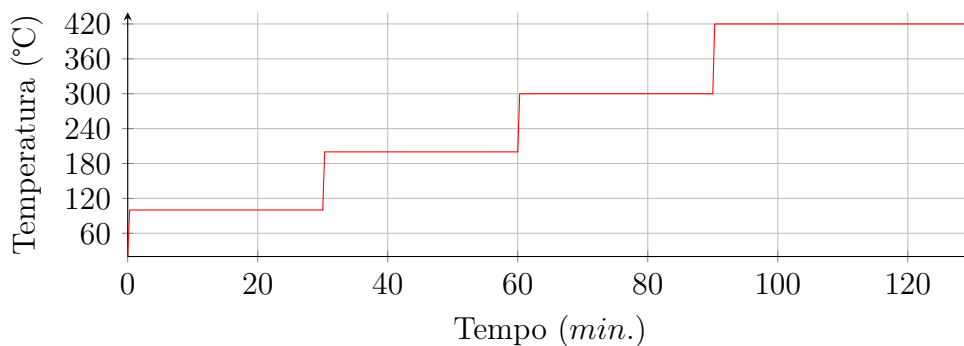
2.4.3 Proteína

A determinação do teor proteico (%Pt) do malte e mosto padrão realizou-se pelo método de Kjeldhal (método AOAC 950.09 [67]), por meio da Equação 2.5 e titulação do azoto presente na amostra. Para tal, utilizou-se o conjunto de digestão e destilação da VELP SCIENTIFICA, modelos DK e UDK 139 Semi-automático, respectivamente.

Num tubo de digestão, adicionou-se a amostra (1 g quando malte triturado e previamente tratado, 25 mL quando mosto), 12 mL de ácido sulfúrico concentrado e 2 pastilhas de catalisador 173348.1213 - PanReac AppliChem (99,9 % K_2SO_4 - 0,1 % Se). Após acondicionados no equipamento, iniciou-se a digestão, seguindo as orientações de tempo e temperatura do fabricante (Figura 2.6). É importante destacar que o equipamento digestor não decrescia o tempo de aquecimento entre platôs do tempo de digestão em temperatura especificada pelo fabricante. Após esta etapa, todas as amostras ficaram translúcidas.



(a) Malte



(b) Mosto padrão

Figura 2.6: Perfil de aquecimento de amostra durante processo de digestão.

Seguidamente, após o arrefecimento da amostra, procedeu-se à digestão. Ao tubo de digestão, adicionou-se 50 mL de água destilada e 50 mL de hidróxido de sódio 30 % (m/v). Com a ebulição da amostra, o azoto existente foi carregado e recolhido em Erlenmeyer contendo 30 mL de ácido bórico 4 % (m/v).

À mistura no Erlenmeyer, adicionou-se 4 gotas do indicador de Tashiro (azul de metileno e vermelho de metila em solução etanólica) procedendo-se em seguida à titulação com ácido clorídrico (HCl) 0,1 N, até obtenção de coloração característica

(ponto de viragem). O %Pt foi calculado pela Equação 2.5, considerando a massa inicial da amostra (m_0), o volume de HCl (V_{HCl}) em mL e 6,25 como o fator de conversão de nitrogênio total em proteína.

$$\%Pt = \frac{V_{HCl} * 0,14 * 6,25}{m_0} \quad (2.5)$$

Índice de Kolbach

Corresponde a razão entre o teor proteico do mosto e no malte utilizado na sua produção (Equação 2.6). O índice Kolbach (KI) faz uma alusão à degradação proteica durante a mosturação, sendo um parâmetro influente nas características do produto final e processamento da bebida, como nas características da espuma e eficiência da filtração [72].

$$KI(\%) = \frac{Proteína_{mosto}}{Proteína_{malte}} \quad (2.6)$$

2.4.4 Açúcares redutores

A determinação do teor de açúcares redutores (AR) efetuou-se pela sua reação com ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS). Esta metodologia está fundamentada na formação de ácido 3-amino-5-nitrosalicílico, devido à oxidação do açúcar redutor (Figura 2.9) em meio aquecido, alterando a coloração da mistura de amarelo para tons escuros de laranja/vermelho [68].

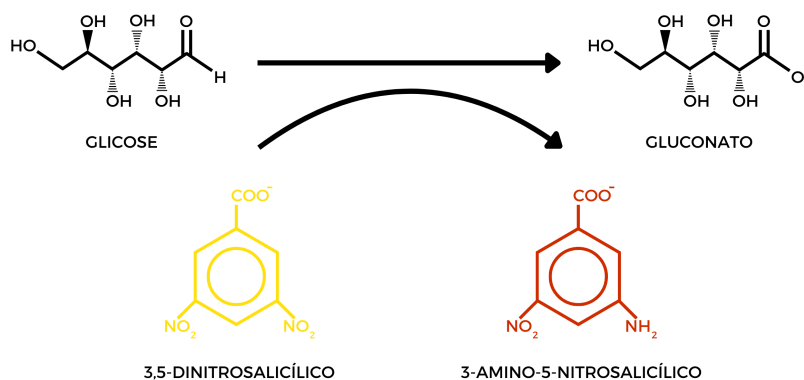


Figura 2.7: Oxidação de açúcares redutores pelo ácido 3,5-dinitrosalicílico, durante o método DNS [68].

A intensidade da coloração da mistura final, avaliada por espectrofotometria, é diretamente proporcional ao AR na amostra. Por meio da regressão linear e diferentes soluções com teor de açúcar redutor conhecido, produz-se uma curva padrão, que nos permite determinar AR pela absorbância (540 nm) obtida na amostra.

A curva padrão (Figura 2.8) foi obtida por meio de nove soluções de glicose com concentração variando entre 0,05 e 2g/L (Tabela 2.3). A Equação 2.7 (curva padrão) fornece a relação matemática entre a concentração de AR e a absorbância (540nm) obtida das amostras após reação com DNS. Para determinação da concentração de AR presentes na amostra, considerou-se ainda os fatores de diluição ($\frac{1}{10}$ e $\frac{1}{25}$).

$$AR_{(g/L)} = \frac{(Abs - 0,019)}{0,5129} \quad (2.7)$$

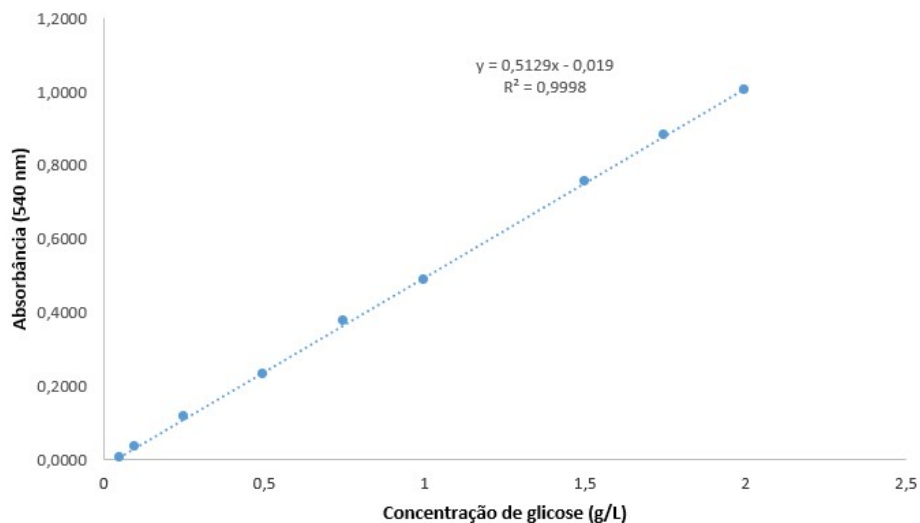


Figura 2.8: Curva padrão adotada para determinação de açúcares redutores pelo método DNS.

Tabela 2.3: Diferentes concentrações de solução de glicose (g/L) e absorbância (540nm) adotadas para determinação da curva padrão.

Concentração de glicose (g/L)	Absorbância (540 nm)
0,05	0,0027
0,10	0,0340
0,25	0,1143
0,50	0,2317
0,75	0,3740
1,00	0,4857
1,50	0,7530
1,75	0,8823
2,00	1,0033

Para a análise (Figura 2.9), foram preparadas infusões com aproximadamente 5g de malte triturado, na proporção de 1:10 de água destilada ($M1$). Desta mistura, transferiu-se 1mL para um balão volumétrico de 25mL, completando o volume com água destilada ($M2$).

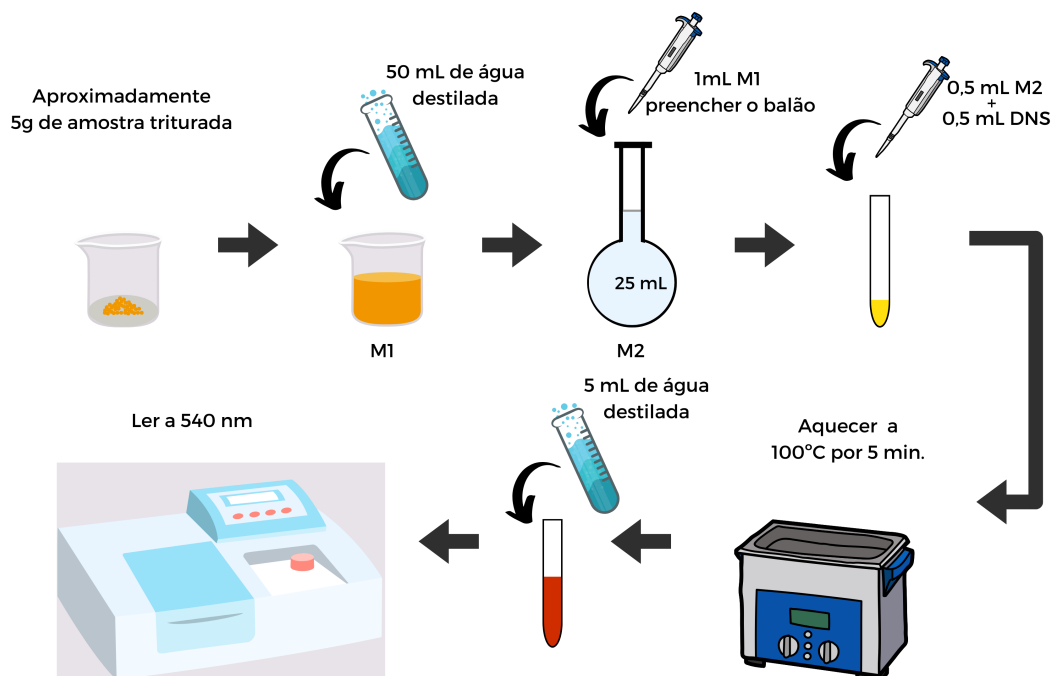


Figura 2.9: Procedimentos do método DNS.

Num tubo de ensaio foram misturados e aquecidos em banho-maria a 100°C por 5 minutos, volumes iguais (0,5mL) de *M2* e DNS. Após o arrefecimento, foram adicionados mais 5mL de água destilada a cada tubo, sendo que posteriormente avaliou-se a absorbância a 540nm. Para reduzir a influência de interferentes, adotou-se como "branco", uma solução preparada como descrito anteriormente, substituindo *M2* por água destilada.

Relação entre açúcares redutores com a malha de crivo e tratamento térmico

Não é possível realizar tal determinação diretamente em amostra sólida, desta forma, foi necessário preparar uma mistura aquosa com o malte triturado. Diversos autores sugerem a adoção de crivos com diferentes tamanhos de malha na preparação desta mistura. Quanto à diluição, é importante considerar a replicabilidade do preparado e garantia de que o *AR* da mistura analisada está dentro dos limites da curva-padrão. Outro ponto que merece destaque é a influência da temperatura na ativação de enzimas endógenas do malte, em especial, as capazes de produzir açúcares redutores ou de baixo peso molecular.

Neste sentido, com a adoção dos maltes de trigo obtidos durante a otimização (Secção 2.2), elaborou-se um delineamento inteiramente casualizado com dois fatores, para averiguar a influência do tamanho da malha de crivo utilizada e de tratamento térmico na preparação da mistura. Foram avaliados dois crivos com 250 e 800 μ m. Para o tratamento térmico, adotou-se o preparo de mosto padrão, conforme apresentado no Apêndice B.

2.4.5 Matéria gorda

A separação da matéria gorda presente no malte, efetuou-se pela extração direta sólido-líquido utilizando n-hexano como solvente, pelo método de Soxhlet (AOAC 920.85 adaptado [70]), em equipamento adequado com sistema de condensação. Esta metodologia é baseada na separação de fases pela diferença de temperatura de ebulição e afinidade entre solvente e matéria gorda.

Antes do início da análise, o balão de fundo chato que acondicionou o extrato gordo foi previamente identificado e dessecado, obtendo-se a respectiva massa (m_{balao}) registrada. Além disso, aproximadamente 10g de malte triturado ($m_{inicial}$) foram colocados em papel filtro de Watman e algodão, de modo a garantir que não ocorresse perda de outro sólido que não matéria gorda para o balão fundo chato. Com balão e amostra devidamente acondicionados ao equipamento, adicionou-se aproximadamente 180 mL de n-hexano, posteriormente iniciou-se o aquecimento do conjunto de extração.

Com o aumento da temperatura na base do conjunto, ocorre a evaporação do solvente, que - ao atingir o topo - torna ao estado líquido (condensa), entrando em contato com a amostra. O conteúdo gordo do malte dissolveu-se na fase líquida, com base na afinidade entre as substâncias. Ao atingir determinado volume, a mistura gordura-solvente era descarregada no balão de fundo chato e reaquecida.

Este processo ocorreu continuamente pelo menos durante 6 horas, extraindo e concentrando a gordura no balão. Atingido o tempo mínimo de extração, a amostra foi retirada do conjunto e o solvente evaporado. Para garantir a ausência de interferentes, o balão foi transferido para uma estufa a 105°C, onde permaneceu pelo menos por 1 hora. Por fim, o balão contendo a matéria gorda, após arrefecimento em excicador à temperatura ambiente, pesou-se obtendo-se a massa (m_{final}). O extrato obtido foi empregado na determinação da matéria gorda total e perfil de ácidos gordos.

Matéria gorda total

O teor de matéria gorda do malte (%Gd) foi determinado pela relação entre a massa inicial da amostra e massas do balão de fundo chato dessecado e contendo o extrato gordo (Equação 2.8).

$$\%Gd = \frac{m_{final} - m_{balao}}{m_{inicial}} * 100 \quad (2.8)$$

Metilação básica

A reação de metilação é etapa fundamental para identificação dos ácidos gordos presentes no malte. Esta nos permite a obtenção de ésteres metílicos dos ácidos gordos que serão quantificados por cromatografia gasosa. Esta metodologia é extensivamente aplicada para a separação e identificação de ácidos gordos em alimentos por diversos autores.

Para metilação dos ácidos gordos (Figura 2.10), a amostra foi solubilizada em n-hexano e misturada com uma solução metanólica de hidróxido de potássio. Garantindo meio e reagentes para a formação dos ésteres metílicos [71]. A quantidade

de reagente utilizado foi proporcional ao peso da amostra presente no balão. Os procedimentos e proporção de reagentes são detalhados no Apêndice A.

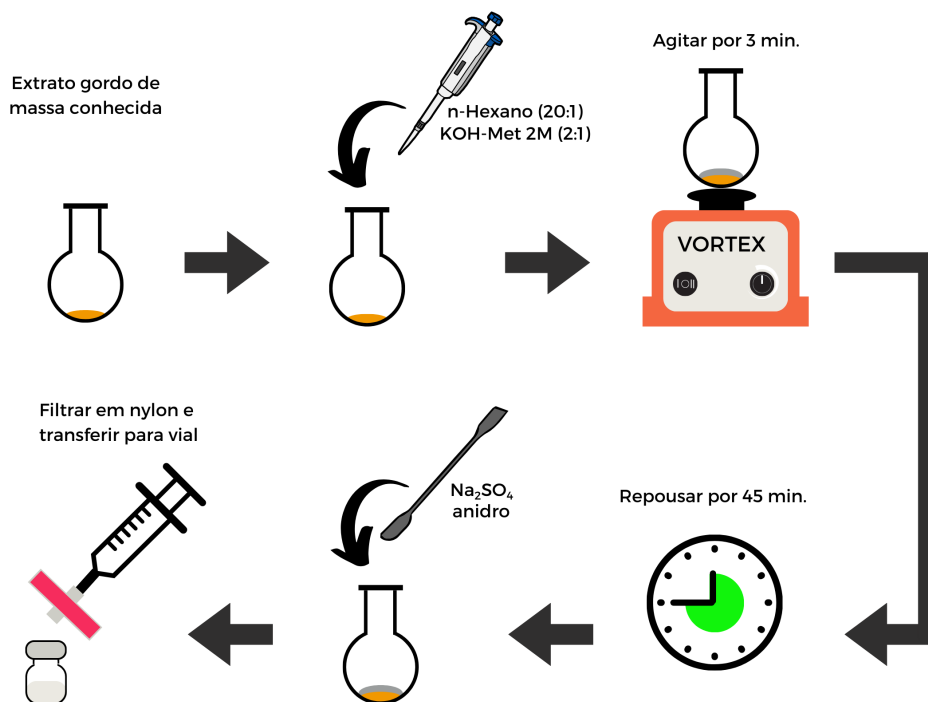


Figura 2.10: Metilação de ácidos gordos [71].

Perfil de ácidos gordos

Para a determinação do perfil de ácidos gordos de maltes com diferentes torras, realizou-se a ensaios de cromatografia gasosa (GC) das amostras de ésteres metílicos do malte. Utilizou-se o equipamento de GC da marca DANI, modelo GC100, com injetor *split/splitless*, detector FID e coluna Zebtron ZB-FAME (30m x 0,25mm x 0,20 μm) de fase estacionária com 5m de pré-coluna. O programa CSWDataApex versão 1.7 também foi utilizado durante os ensaios.

O programa do gradiente de temperatura do forno apresenta-se na Figura 2.11. Utilizou-se o H_2 como gás de arraste, com fluxo de $1,1 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$, medido a 100°C . As temperaturas do injetor e detector foram de - respectivamente - 250 e 260°C . No detector havia pressão de *make-up* com gás azoto e ar reconstituído *tipo K*, $0,6$ e $0,91\text{bar}$ respectivamente. Foi injetado $1 \mu\text{L}$ de amostra na coluna, com *split* de 1:40.

Os ácidos gordos presentes nos maltes foram derivatizados em ésteres metílicos (Seção 2.4.5) e quantificados por comparação dos picos dos tempos de retenção, baseados em cromatograma de mistura padrão de ésteres metílicos 37-Component FAME Mix da Supelco (Figura 2.12). A lista de metil ésteres presentes no padrão é apresentada na Tabela 2.4. A composição dos ácidos gordos foi expressa em percentagem relativa.

Tabela 2.4: Perfil de ácidos gordos presentes no padrão 37-Component FAME Mix da Supelco, com a respectiva concentração %(m/m).

Nº	Éster metílico	Concentração (%)
1	Ácido butírico (C4:0)	4,0
2	Ácido caproico (C6:0)	4,0
3	Ácido caprílico (C8:0)	4,0
4	Ácido cáprico (C10:0)	4,0
5	Ácido Undecanoico (C11:0)	2,0
6	Ácido láurico (C12:0)	4,0
7	Ácido tridecanoico (C13:0)	2,0
8	Ácido mirístico (C14:0)	4,0
9	Ácido miristoleico (C14:1)	2,0
10	Ácido pentadecanoico (C15:0)	2,0
11	Ácido <i>cis</i> -10-pentadecenoico (C15:1)	2,0
12	Ácido palmítico (C16:0)	6,0
13	Ácido palmitoleico (C16:1)	2,0
14	Ácido heptadecanoico (C17:0)	2,0
15	Ácido <i>cis</i> -10-heptadecanoico (C17:1)	2,0
16	Ácido esteárico (C18:0)	4,0
17	Ácido oleico (C18:1n9c)	4,0
18	Ácido elaídico (C18:1n9t)	2,0
19	Ácido linoleico (C18:2n6c)	2,0
20	Ácido linolelaídico (C18:2n6t)	2,0
21	Ácido γ -linolenico (C18:3n6t)	2,0
22	Ácido α -linolenico (C18:3n3)	2,0
23	Ácido aracnídico (C20:0)	4,0
24	Ácido <i>cis</i> -11-eicosanoico (C20:1n9)	2,0
25	Ácido <i>cis</i> -11,14-eicosadienoico (C20:2)	2,0
26	Ácido <i>cis</i> -8,11,14-eicosatrienoico (C20:3n6)	2,0
27	Ácido <i>cis</i> -11-14-17-eicosatrienoico (C20:3n3)	2,0
28	Ácido aracdonico (C20:4n6)	2,0
29	Ácido <i>cis</i> -5,8,11,14,17-eicosapentanoico (C20:5n3)	2,0
30	Ácido heneicosanoico (C21:0)	2,0
31	Ácido beénico (C22:0)	4,0
32	Ácido erúxico (C22:1n9)	2,0
33	Ácido <i>cis</i> -13,16-docosadienoico (C22:2)	2,0
34	Ácido <i>cis</i> -4,7,10,13,16,19-docosahexaenoico (C22:6n3)	2,0
35	Ácido tricosanoico (C23:0)	2,0
36	Ácido lignocérico (C24:0)	4,0
37	Ácido nervonico (C24:1n9)	2,0

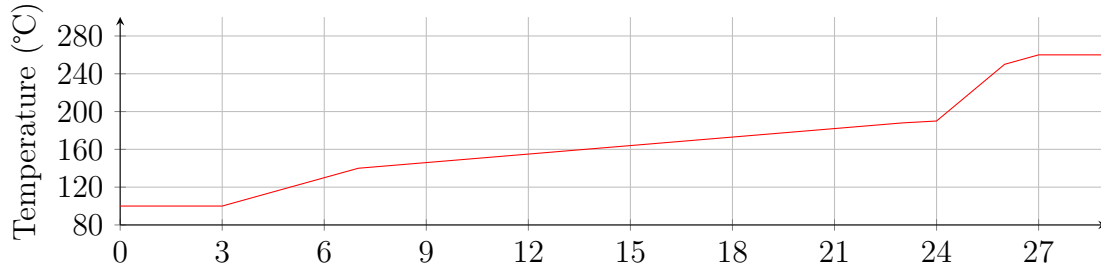


Figura 2.11: Programa do gradiente de temperatura do forno do GC.

2.4.6 Percentual de germinação

O processo de germinação é de extrema importância para a qualidade do malte. A quebra do estado de dormência do cereal garante o aumento da atividade de enzimas endógenas, responsáveis pela degradação de macromoléculas, como proteínas e carboidratos. Devido a isto, há a produção de açúcares fermentáveis, substrato necessário para a multiplicação dos microrganismos que conduzem o processo fermentativo.

O percentual de germinação ($\%Germinao$) foi determinado pela contagem de grãos germinados em etapa específica durante a malteação. Para tal, réplicas de 100 grãos macerados foram igualmente divididas em placas de Petri (em vidro), mantidas sob temperatura controlada em estufa específica, e inspecionados diariamente, durante o tempo delineado. O número de grãos germinados foi contabilizado e registrado diariamente.

A amostra utilizada nestes ensaios foi selecionada manualmente, removendo-se grãos quebrados ou danificados. Considerou-se como germinado o grão cuja radícula rompeu a parede celular. Havendo necessidade, para garantia das condições necessárias para desenvolvimento do grão, água destilada era aspergida [69].

2.5 *e-nose*

O nariz eletrônico (*e-nose*) é uma ferramenta moderna que mimetiza o olfato humano por meio de sensores químicos capazes de detectar e quantificar diferentes substâncias voláteis. Ele vem sendo adotado em diversos ramos da ciência, inclusive na ciência de alimentos, devido a sua sensibilidade, baixo custo e pelo pouco ou nenhum tratamento da amostra [73, 74]. Nesta investigação, o *e-nose* foi utilizado para detectar diferenças nos maltes produzidos em decorrência de diferentes torras.

O *e-nose* adotado nesta investigação é constituído por um sistema para acoplar até três amostras, uma câmara de sensores, uma bomba de vácuo, um *data logger* (Agilent 34970, EUA) e um banho termostatizado (Figura 2.13). O sistema garante a aspiração dos compostos voláteis, confinando-os na câmara de sensores (câmara de gases), permitindo a quantificação dos compostos. O banho térmico assegura o aquecimento da amostra a 40°C durante todo o processo.

Com o sistema sob vácuo, abre-se a válvula de amostragem (VA), uma amostra por

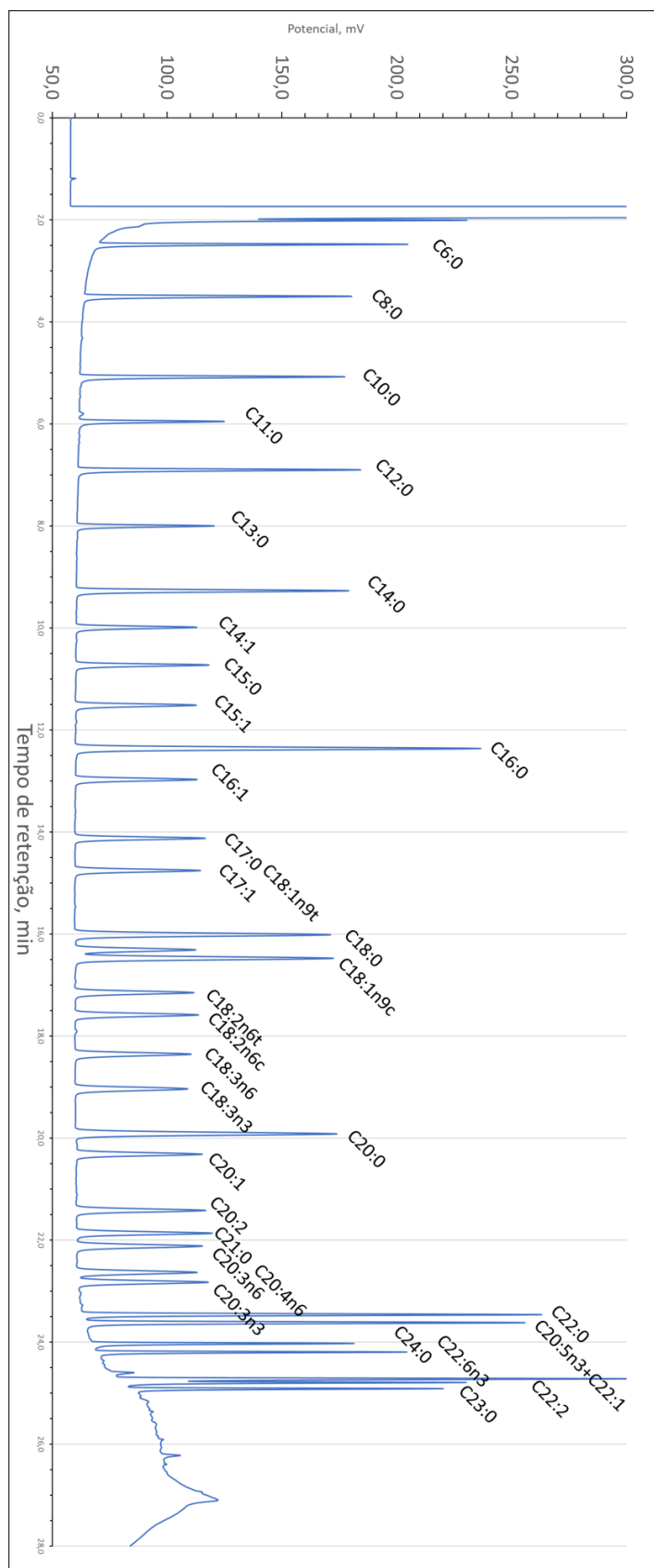
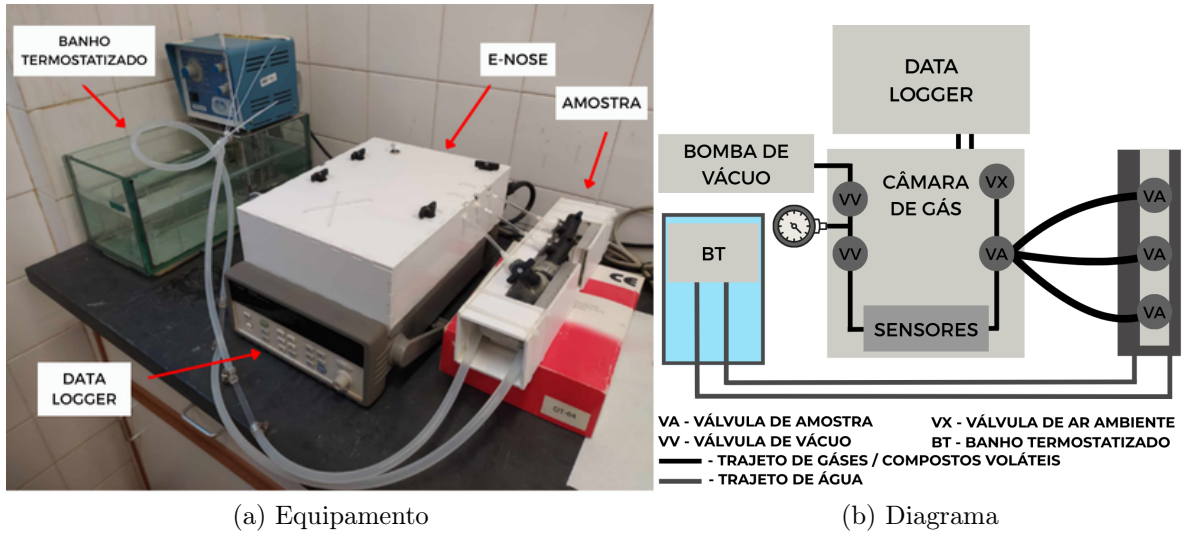


Figura 2.12: Cromatograma padrão 37-Component FAME Mix da Supelco


 Figura 2.13: Estrutura e diagrama do *e-nose*.

vez, realizando-se a sucção dos voláteis. VA torna-se a fechar, aprisionando os voláteis na câmara (CG) e registrando os sinais resistivos (em ohm) para cada um dos sensores (Figura 2.14) durante 10 minutos. O valor da medição (sinal) corresponde ao módulo da subtração entre os valores inicial e mínimo.

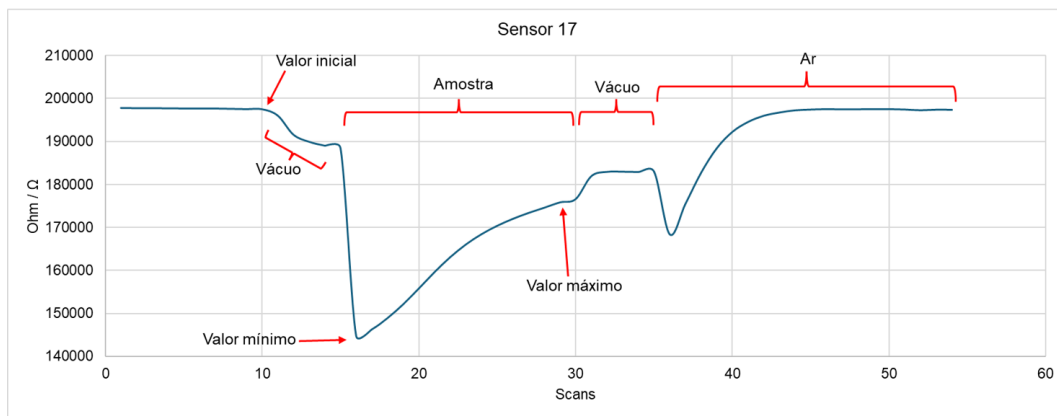


Figura 2.14: Representação gráfica dos sinais resistivos registrados por sensor durante a análise.

Após a análise de cada amostra, abre-se a válvula de acesso ao ar ambiente (VX), para limpeza do sistema e sensores, aplicando-se a pressão de 0,55 bar, até que o sistema entre em equilíbrio. Obtido isso, o VX é fechada e o sistema retorna ao vácuo.

Ao todo, o equipamento possui 17 sensores de gás do tipo semicondutores de óxido metálico (MOS) distintos (Tabela 2.5) da marca Figaro MQ. Todos os sensores são baseados em dióxido de estanho (SnO_2), de sensibilidade não especificada, que - em alta temperatura - são capazes de comportar-se como semicondutores.

Sensores MOS de gases vêm ganhando popularidade em ensaios detecção e quantificação de gases, inclusive na ciência alimentar: a produção destes sensores não

Tabela 2.5: Especificações dos sensores Figaro presentes no *e-nose*.

Sensor	Identificação	Substâncias detetada
1	MQ2	Propano, butano, metano, fumo, álcool, hidrogênio e monóxido de carbono
2	MQ2B	Similar ao MQ2, porém com maior sensibilidade
3	MQ3B	Álcool, metanol e etanol
4	MQ4	Propano, butano e metano
5	MQ4B	Similar ao MQ4
6	MQ6	Propano, isobutano, gás natural liquefeito (GN) e gás liquefeito de petróleo (GLP)
7	MQ5B	Gás natural, de carvão e de combustíveis, incluindo GLP
8	MQ8	Com alta sensibilidade, hidrogênio; com baixa sensibilidade, álcool, GLP e fumo
9	MQ9B	Monóxido de carbono, metano, propano e gases combústíveis
10	MQ7B	Monóxido de carbono
11	MQ5	Gases inflamáveis, incluindo: GLP, GN, gás de carvão, metano, propano, butano, além de - com baixa sensibilidade - fumo de cigarro e álcool
12	MQ9	Gases inflamáveis, incluindo: monóxido de carbono, metano, propano, GLP, GN e gás de carvão
13	MQ135	Nitrogênio, óxido nítrico, álcool, benzeno, dióxido de carbono e fumo
14	MQ136	Gás sulfídrico
15	MQ137	Nitrogênio
16	MQ138	Gases orgânicos voláteis, n-hexano, álcool, fumo e monóxido de carbono
17	MQ139	Gases refrigerantes, como o R134A

é complexa e os metais utilizados são abundantes; o manuseio do equipamento é fácil e apresentando durabilidade; com boa sensibilidade e reprodutibilidade. O princípio deste tipo de sensor esta baseado na alteração da resistividade/condutividade pela interação com o gás analisado [75, 76].

Além disso, com objetivo de averiguar a influência do meio sobre os aromas apresentados, cada uma das amostras de malte foi analisada pelo *e-nose* em três tratamentos distintos: grão inteiro (I); grão triturado (TI), e; grão triturado e infundido (TU). Após o término dos ensaios, os sinais resistivos obtidos de cada sensor também foram normalizados por meio da Equação 2.9 e, então, comparados entre si.

$$sinal_{normalizado} = \frac{sinal_{torra}^{sensor} - \mu^{sensor}}{\sigma^{sensor}} \quad (2.9)$$

Capítulo 3

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos na nossa investigação são apresentados e discutidos neste capítulo. Os valores obtidos nas repetições de ensaios desta tese são detalhados no Apêndice C.

3.1 Produção de malte de cereais ibéricos

As características dos maltes produzidos a partir de cereais tradicionais ibéricos - cevada rabuda (*CR*), centeio ibérico (*CI*) e trigo barbela (*TB*) - são apresentadas na Figura 3.1. Visualmente, não é possível constatar grandes diferenças nos dados obtidos, os valores exatos dos parâmetros analisados são apresentados na Tabela 3.1.

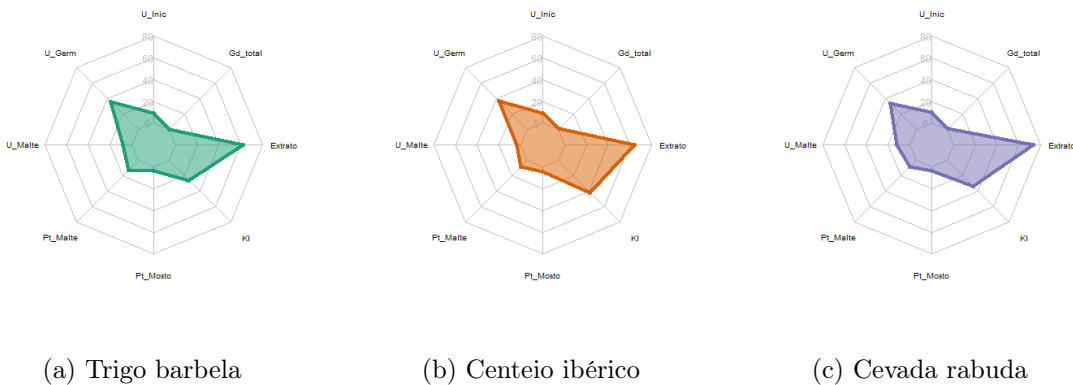


Figura 3.1: Características dos maltes de cereais ibéricos produzidos.

A umidade é um parâmetro importante para a fisiologia de cereais de forma geral. No que diz respeito à indústria cervejeira, é fundamental controlar rigorosamente este parâmetro, visto que, para além da necessidade de conservar o grão, é necessário germiná-lo posteriormente durante a maltagem. A umidade do grão em diferentes etapas da maltagem é apresentada na Figura 3.2.

Após a colheita, é necessário reduzir o percentual de umidade no cereal, algo entre 12 a 14%, dependendo do tempo, temperatura e umidade relativa do local de armazenamento, bem como do tipo de cereal. Desta forma, induz-se o estado de dormência, reduzindo o seu metabolismo, contribuindo para sua conservação [77].

Teor de umidade ($\%U$) acima do indicado reduz a qualidade do cereal durante o tempo de armazenamento, tornando-o suscetível a fungos e outras pragas. Já valores

Tabela 3.1: Característica bromatológicas dos maltes de cereais tradicionais ibéricos produzidos.

Cereal	TB	CI	CR
Umidade inicial (%)	11,43 ± 0,52	11,64 ± 0,78	12,32 ± 0,22
Umidade germinação (%)	44,65 ± 0,32	46,20 ± 0,20	42,55 ± 0,49
Umidade malte (%)	10,38 ± 0,41	5,01 ± 0,06	14,70 ± 0,04
Proteína malte (%)	15,23 ± 0,37	10,39 ± 0,17	9,91 ± 0,15
Proteína mosto (%)	4,89 ± 0,35	5,38 ± 1,95	4,16 ± 0,02
KI (%)	32,07 ± 1,74	51,77 ± 1,48	41,97 ± 0,86
Extrato (%)	77,37 ± 1,87	80,17 ± 0,61	91,80 ± 0,31
Matéria gorda (%)	n.d	1,67 ± 0,18	1,95 ± 0,29

n.d: valor não determinado.

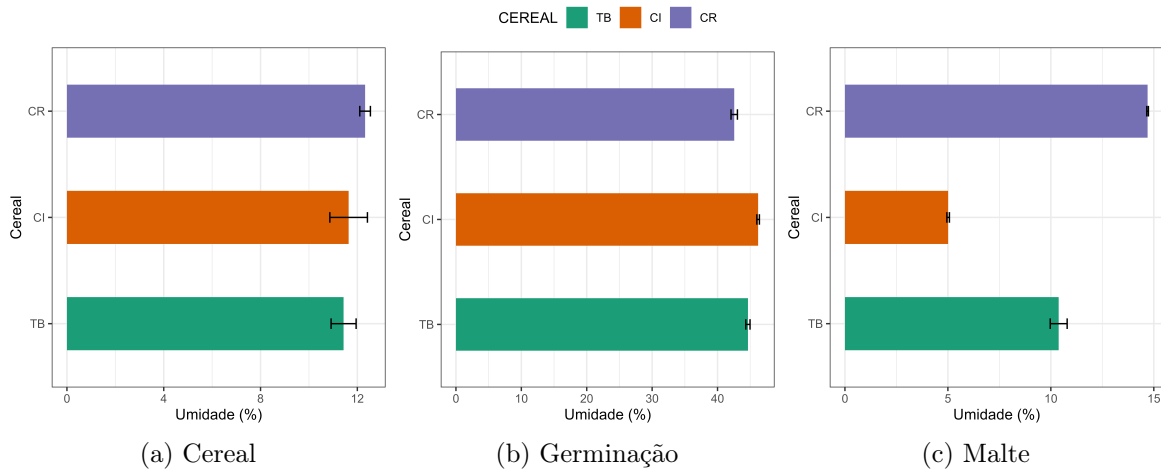


Figura 3.2: Umidade do grão em diferentes etapas da malteação.

excessivamente baixos (< 10%) podem acarretar lesões embrionárias, reduzindo a capacidade de germinação [25, 77].

A umidade dos cereais estudados estava próxima de 11,7% (Figura 3.2a), valor adequado para a conservação e armazenamento de grãos, estando em conformidade com os valores iniciais de outros estudos de malteação [18, 19, 77, 78].

O aumento do %U na maceração é fundamental para a quebra do estado de dormência e para o aumento da atividade metabólica do cereal tornando possível a sua germinação. O %U nesta etapa da maltagem (Figura 3.2b) está condizente com os valores obtidos quer em estudos em que foi adotado mesmo processo de maltagem, quer em investigações que foram utilizadas outras metodologias [18, 19, 64, 78].

Já a umidade final dos maltes produzidos variou expressivamente (Figura 3.2c), sendo os valores obtidos superiores ao recomendado na literatura (< 4%) para a conservação de malte. Todavia, para o CR e CI, os valores corresponderam ao %U de maltes de mesmo cereal obtidos com metodologias idênticas [18, 25, 64].

No nosso estudo, não foram realizados ensaios para avaliar a vulnerabilidade

dos maltes produzidos durante longos períodos de conservação. Sendo tal ponto importante para o fomento ao comércio de cereais tradicionais, tornando-se imperiosa esta determinação em trabalhos futuros.

A proteína presente no malte influencia a mosturação, a atividade do fermento e as características da cerveja. A concentração proteica é fundamental para a estabilidade da espuma e nutrição da levedura (na forma de aminoácidos e peptídeos), porém pode dificultar a brassagem, tornar a cerveja turva e dificultar a degradação enzimática do amido. O teor proteico ($\%Pt$) dos maltes de CI e CR (Figura 3.3a) converge com o que é reportado na literatura, estando o teor em TB razoavelmente acima [77, 79].

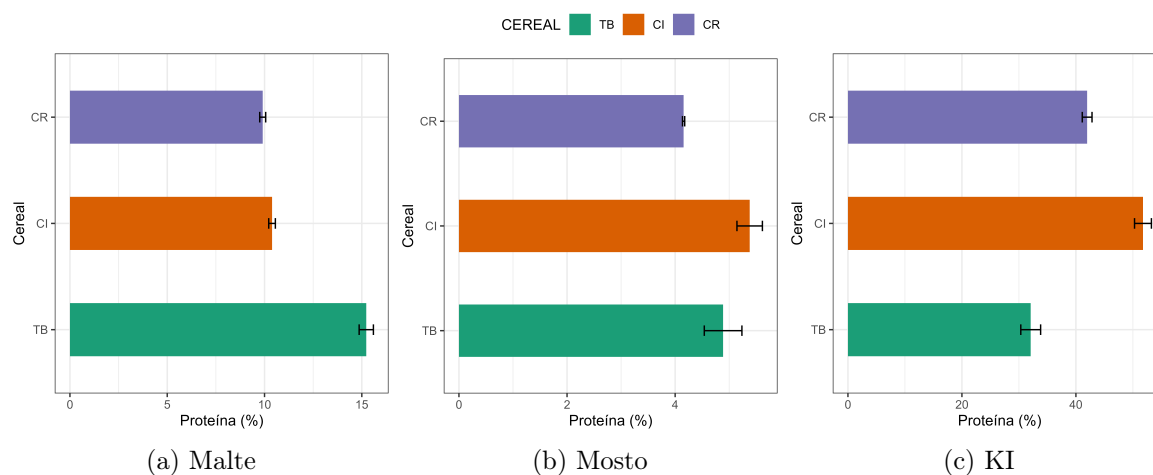


Figura 3.3: Índice de Kolbach e conteúdo proteico de malte e mosto padrão dos maltes de cereais tradicionais ibéricos.

Muito além do $\%Pt$, é importante considerar a composição proteica, visto que diferentes proteínas afetam a qualidade do mosto e da cerveja de forma distinta. As albuminas, devido a sua resistência térmica e enzimática, mantêm-se íntegras durante toda a produção cervejeira e contribuem para a estabilidade da espuma. Já as hordeínas estão associadas à turbidez tardia e baixo rendimento [77, 80]. Não foram feitos ensaios para determinar o perfil proteico dos maltes produzidos.

O $\%Pt$ presente no mosto padrão dos maltes produzidos variou entre 4,1 e 5,4%, e o KI entre 32 e 52%. O KI pode ser entendido como uma medida da transferência ou solubilização das proteínas do malte para o mosto padronizado, sendo um indicador da proteólise durante a malteação e brassagem [77, 81].

Os valores de KI em CR e CI estão de acordo com o descrito na literatura para maltes destes cereais. Os teores em TB , apesar de serem baixos, ainda estão dentro dos valores observados por outros investigadores em maltes de trigo [18, 19, 78, 81].

Alguns estudos relacionam o KI com a degradação de diferentes macromoléculas, atividade enzimática e características do malte de trigo. Na Tabela 3.2 está sintetizada algumas dessas informações. Valores baixos de KI parecem dar origem a mostos com teores menores de açúcares redutores e cadeia curta, com maiores concentrações de amido, apontando para baixa atividade enzimática [19, 72, 77, 82].

Tabela 3.2: Atributos alterados pelo *KI* em maltes de trigo [72].

Atributo	KI ótimo (%)	Descrição
α -amilase	42,7	
β -amilase	37,6 - 39,5	Apresentam pico
Proteases	39,5 - 40,7	de atividade
β -glucanase	37,6	enzimática, caindo
β -D-xilosidase	40,7	ao se afastar
Endoxilanase	39,5	
Amido	39,5 - 42,7	Decresce até estabilizar, tornando a decrescer posteriormen
Hidrofobicidade	Quanto menor melhor	Decresce até estabilizar

Assumindo que os dados relatado na Tabela 3.2 são similares no malte obtido a partir de outros cereais, apenas o malte de *CR* se aproxima do pico de atividade enzimática e degradação de amido. Enquanto cervejas produzidas com o malte *TB* apresentariam alta estabilidade de espuma.

Para os cervejeiros o extrato padrão é um dos principais parâmetros de qualidade do malte, sendo também um indicador econômico, visto que representa a quantidade de sólidos do malte transferidos ao mosto na brassagem, isto é, todas as proteínas, peptídeos, açúcares e outras substâncias hidrolisadas que foram dissolvidas [81].

Os maltes produzidos apresentaram extrato padrão variando entre 77 e 92% (Figura 3.4). Alguns investigadores indicam que valores de extrato próximos a 80% garantem uma boa fermentação [77, 81], todavia a literatura está repleta de valores que distam destes teores, mesmo para maltes de base [83, 84].

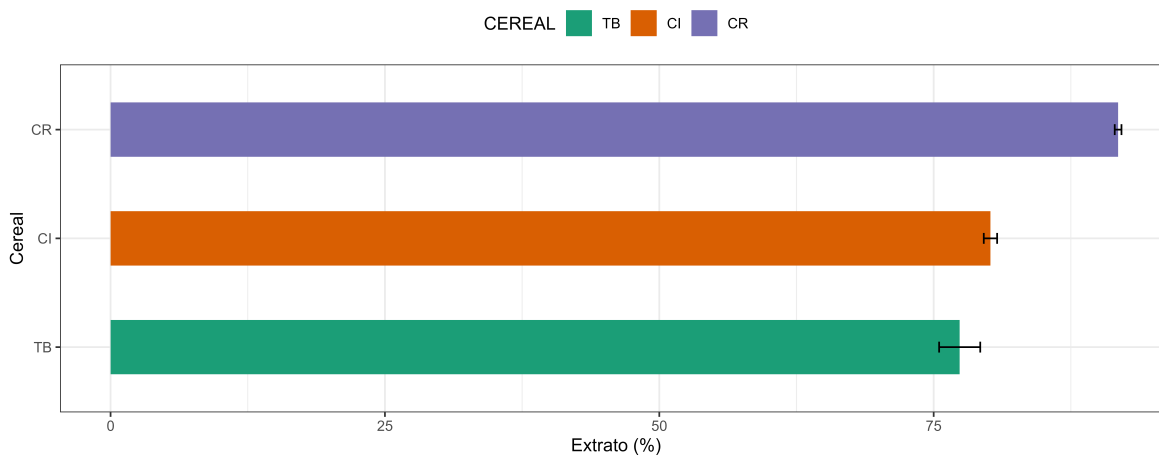


Figura 3.4: Percentuais de extrato padrão obtidos dos maltes produzidos.

Os percentuais de extrato encontrado para *TB* e *CI* aproximam-se dos indicados pela literatura como habituais, enquanto para *CR*, o valor foi superior (91,80%). Tal fato não é considerado um revés, visto que - para maltes base - valores elevados de extrato representam maior eficiência na transferência de massa, favorecendo e contribuindo para o rendimento e menor custo da produção.

É importante destacar que há uma relação íntima entre a etapa de secagem e o extrato padrão de um malte, sendo que maltes de cor (mais escuros) costumam apresentar valores menores para esse atributo. Tal facto pode estar relacionado com a inativação enzimática pelo calor ocasionado pelas temperaturas e tempo adotados na secagem deste tipo de malte [81]. Destaca-se que: para a produção do malte de *CR* o tempo de secagem foi de 14h, o menor dentre os produzidos. Isto pode justificar o elevado valor de extrato de *CR*.

O percentual de germinação ($\%Germ$) de todos os cereais superou os 75% (Figura 3.5). O valor mais elevado observou-se em *CR* - acima de 90% - no menor intervalo de tempo, enquanto o *TB* necessitou do dobro de tempo para atingir valores similares. Dentre os cereais avaliados, o *CI* apresentou o menor $\%Germ$.

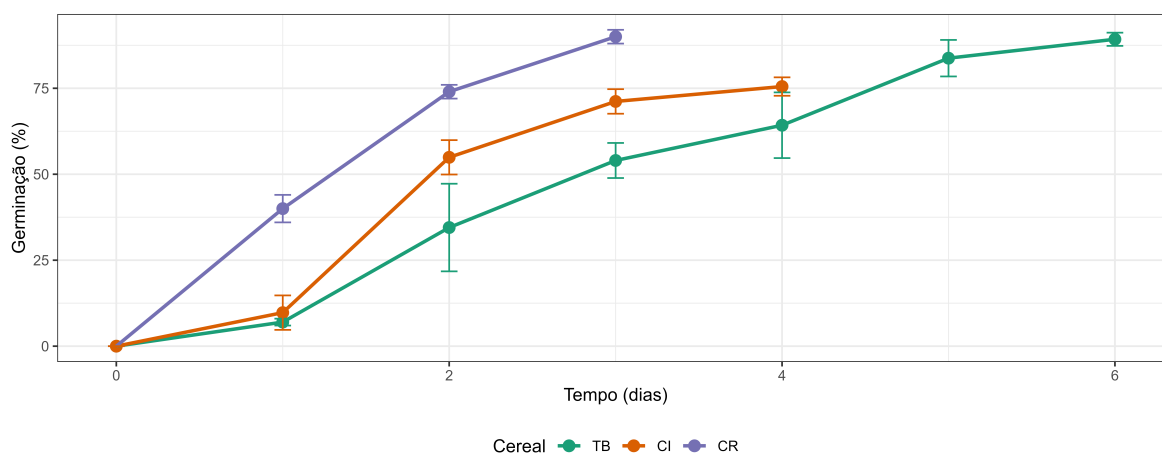


Figura 3.5: Percentual de grãos germinados no período de ensaio.

De forma geral, a literatura refere $\%Germ$ maiores para variedades de cevada em comparação aos demais cereais avaliados (Tabela 3.3). Todavia, ainda assim, os valores obtidos neste estudo são razoavelmente inferiores ao relatado na literatura.

A germinação de cereais é influenciada por diferentes fatores, como o tempo que medeia entre a colheita, a germinação e as condições de armazenamento. O que pode ter influenciado nos resultados obtidos [88]. Apesar das diferenças encontradas, nos últimos dias da etapa de germinação durante a maltagem dos cereais, observou-se menor variação, não sendo claro o incremento do $\%Germ$ com o aumento do tempo desta etapa. A Tabela 3.4 detalha os percentuais de grãos germinados diariamente durante os nossos ensaios.

Assim, estudar - especificamente - a germinação dos cereais ibéricos, considerando diferentes temperaturas, tempos e a umidade do grão, bem como, tratamentos prévios à germinação, pode contribuir para a obtenção de percentuais superiores, equiparando as variedades ibéricas às referidas na literatura.

De forma geral, os parâmetros dos maltes obtidos neste estudo preliminar assemelham-se aos dos maltes apresentados na literatura e em estudos análogos. Nos parâmetros em que se atingiram valores próximos aos limites mínimos, como o *KI* para o *TB* e germinação em todos os cereais, novos estudos podem ser realizados alternando-se

3.2. A INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO E MALHA DO CRIVO SOBRE O TEOR DE AÇÚCARES REDUTORES

Tabela 3.3: Germinação de diferentes cereais para a cervejaria, relatados na literatura.

Cereal	Tempo (dias)	Temperatura (°C)	Germinação (%)	Referência
Cevada	6	14	100,0	[78]
	5	16-18	94,0	[81]
Trigo	6	14	93,5	[78]
	5	15	97,8	[83]
	4-5	20-22	92,5	[85] ¹
	5-7	13-17	>95,0	[86]
	5	15	96,0	[87]
	5	16-18	91,0	[81]
Centeio	4-7	14	97,7	[78]
	4-6	12-18	90,0	[18]
	5	16-18	86,0	[18]

¹ Estudo com germinação hidropônica.

Tabela 3.4: Percentual de germinação de diferentes cereais tradicionais ibéricos.

Dia	TB	CR	CI
0	0,00	0,00	0,00
1	7,00 ± 1,00	40,00 ± 4,00	9,75 ± 5,01
2	34,50 ± 12,74	74,00 ± 2,00	54,92 ± 5,00
3	54,00 ± 5,10	90,00 ± 2,00	71,17 ± 3,57
4	64,25 ± 9,55		75,50 ± 2,68
5	83,75 ± 5,31		
6	89,25 ± 1,92		

especificações processuais para obtenção de valores melhores.

3.2 A influência do tratamento térmico e malha do crivo sobre o teor de açúcares redutores

Para averiguar a influência dos fatores abertura da malha do crivo e do tratamento térmico no preparo da amostra, 18 amostras do malte de trigo barbela foram analisadas, com o emprego - ou não - de tratamento térmico e de crivos de diferentes malhas (250 e 800 μ m). O tratamento térmico aqui adotado foi o mesmo para a obtenção do mosto padronizado (Apêndice B). Ao todo, 145 ensaios para a determinação de DNS foram realizados. A Tabela C.1 apresenta os valores médios obtidos para cada uma das amostras investigadas.

Os teores de AR obtidos por meio da análise DNS variaram entre 0,02 e 1,85% (m/m), onde os valores superiores foram auferidos de amostras mosturadas. Em média, os resultados obtidos a partir deste tratamento (Q) foram superiores. Apesar de tal fato, constata-se que a amplitude de Q , independente do crivo, é superior aos F (Figura 3.6), ou seja, apesar da obtenção de valores elevados em Q , valores tão rasos quanto

os observados em F também foram observados. O menor percentual de açúcar redutor obtido em Q foi de 0,07 %.

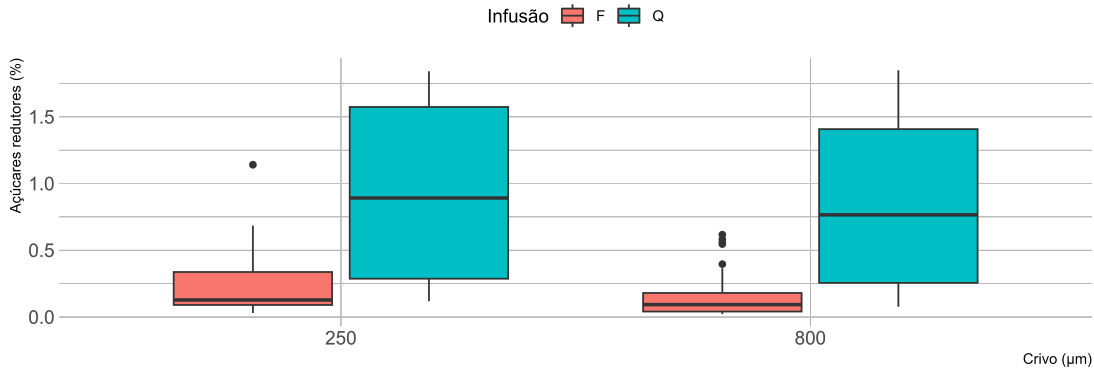


Figura 3.6: Gráfico de extremos e quartis para os diferentes tratamentos analisados.

Ressalta-se que o aumento do teor de açúcares redutores em amostras mosturadas (Q) em relação a amostras não mosturadas (F) é esperado, uma vez que tal processo ativa as enzimas maltogênicas endógenas do malte, alterando sua composição.

Nota-se ainda que os valores obtidos dos tratamentos $Crivo = 800$ são ligeiramente inferiores se comparados à mesma infusão dos $Crivo = 250$. Tal fato pode relacionar-se com a superfície de contato da amostra, uma vez que a redução da granulometria (tamanho do crivo) aumenta-a, facilitando a extração dos açúcares redutores durante o preparo da amostra.

Para satisfazer o objetivo principal desta etapa da investigação, avaliar a influência do tratamento térmico e do tamanho da malha do crivo sobre o conteúdo de açúcares redutores, os resultados apresentados foram submetidos à análise estatística. Ao compararmos as médias pela análise de variância - ANOVA (Equação 3.1), apercebe-se que apenas a infusão possui efeito significativo sobre o teor de açúcares redutores (Tabela 3.5), sendo tal diferença evidenciada por teste *post-hoc* (Tabela 3.6).

$$Y_{infuso:crivo} = \mu + \tau_{infuso} + \beta_{crivo} + \epsilon_{infuso:crivo}, \begin{cases} infuso = F, Q \\ crivo = 250, 800 \end{cases} \quad (3.1)$$

Tabela 3.5: Resultado da ANOVA do efeito de diferentes crivos e infusões no teor de açúcares redutores.

	GL	SQ	QM	$f - valor$	$p - valor$
Crivo	1	0,222	0,222	1,028	0,312
Infusão	1	15,312	15,312	71,067	<0,001
Crivo:Infusão	1	0,001	0,001	0,004	0,952
Resíduos	141	30,380	0,215		

3.2. A INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO E MALHA DO CRIVO SOBRE O TEOR DE AÇÚCARES REDUTORES

Tabela 3.6: Percentuais médios de DNS obtidos nos diferentes tratamentos.

Infusão \ Crivo	250 (%)	800 (%)
	F	0,251 ^{Ba}
Q	0,898 ^{Aa}	0,820 ^{Aa}

Pelo teste de Tukey ($p - valor < 0,05$), temos que: letras maiúsculas iguais indicam médias estatisticamente iguais entre linhas; minúsculas, entre as colunas.

Apesar dos pressupostos necessários para a realização da ANOVA serem satisfeitos, a literatura indica que tal análise é robusta contra certos desvios. Acrescenta-se ainda que ao reanalisar os resultados através do ajuste de modelos lineares generalizados (teste não paramétrico) os achados da ANOVA mantêm-se (Tabela 3.7).

Tabela 3.7: Resultados do ajuste por modelos lineares generalizados em relação ao efeito de diferentes crivos e infusões no teor de açúcares redutores.

	Estimativa	Erro padrão	$t - valor$	$p - valor$
Intercepto	0,253	0,076	3,312	<0,001
Crivo	-0,087	0,109	-0,803	0,423
Infusão	0,645	0,109	5,938	<0,001
Crivo:Infusão	0,009	0,154	0,061	0,952

Frente ao exposto, é possível dizer que, considerando as amostras analisadas, não foi possível identificar diferença estatisticamente significativa para os valores de açúcares redutores obtidos com o uso de crivos com diferentes tamanhos de malha, todavia, o mesmo não ocorreu ao compararmos amostras mosturadas e não mosturadas, corroborando com o efeito do tratamento térmico para ativação enzimática e aumento do teor desses açúcares.

Integra-se a tal resultado que a possibilidade do uso da determinação de açúcares através da reação com ácido 3,5-dinitrosalicílico como maneira rápida e eficaz de se detetar a atividade enzimática endógena em cereais germinados, visto que esta análise possui metodologia simples, não necessitando de aparato tecnológico robustos ou incomum ao ambiente laboratorial.

Vislumbra-se tal fato como uma alternativa na investigação de milhos tradicionais da península ibérica nas próximas etapas do CERTRA. Tradicionalmente, o milho não é valorizado na indústria cervejeira devido à sua baixa atividade diastática, ou seja, por não possuir atividade enzimática relevante, no entanto a literatura já relata variedades tradicionais deste cereal com tal capacidade, o que pode despertar o interesse da indústria cervejeira [69].

3.3 Otimização da malteação do trigo barbela

Para otimizar o processo de malteação do trigo barbela, três parâmetros processuais foram variados em três níveis distintos: Umidade final da maceração (U_{fm}); Tempo (t) e temperatura (T) de germinação (Tabela 2.1). Além da contagem diária dos grãos germinados, também foram avaliados 6 parâmetros de qualidade do malte: O extrato; O índice Kolbach (KI); Os teores de proteína e açúcares redutores no malte e mosto padrão. A Tabela 3.8 apresenta os parâmetros de qualidade citados e alguns teores de umidade pertinentes ao processo de malteação.

No que concerne aos parâmetros de qualidade avaliados, podemos observar uma variação uniforme dos resultados centrados (Figura 3.7), com apenas uma resposta atípica (*outlier*) para o teor de açúcares redutores do malte.

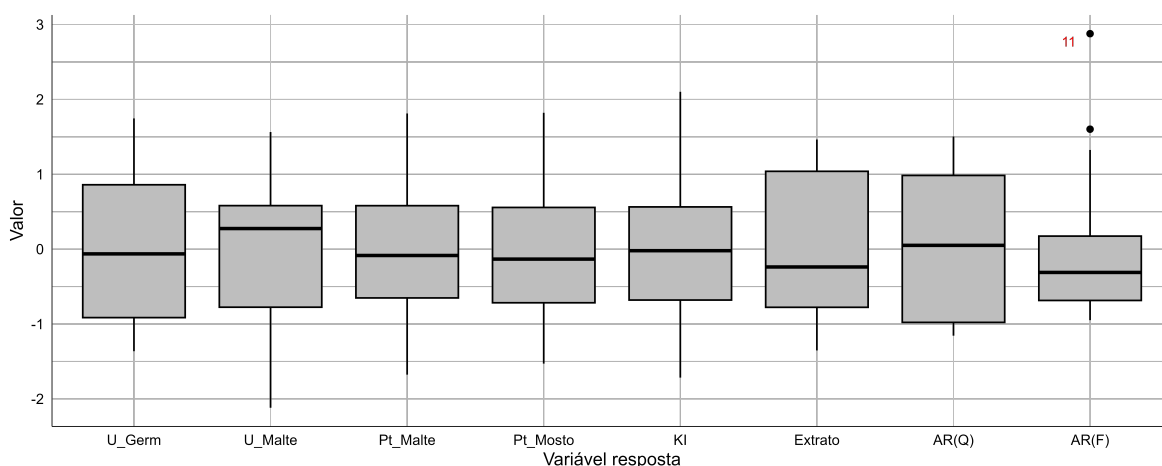


Figura 3.7: Gráfico de extremos e quartis dos diferentes parâmetros de qualidade dos maltes de trigo barbela produzidos.

Ainda sobre os parâmetros do malte, não houve um tratamento (ensaio) que obtivesse os melhores ou os piores resultados. Apenas o tratamento 50//15//8 (A//B//C) apresentou o maior valor em dois parâmetros, KI e teor de açúcares redutores do malte, com valores acima da média para todos os outros critérios, com exceção do teor proteico no malte. Em contrapartida, o tratamento 50//25//8 teve os menores valores para 4 dos 6 parâmetros avaliados. Nota-se ainda que, dentre os resultados inferiores predominou a presença de: umidade ao fim da maceração (A) igual a 50%; Temperatura de germinação (B) igual a 25°C, e; Tempo de germinação (C) igual a 8 dias.

Não se pretende dizer que o tratamento 50//25//8 seja o pior dentre os avaliados, mas sim evidenciar a frequência com que tais níveis das variáveis independentes - individualmente - figuraram dentre os resultados mais baixos. É insuspeito que o aumento do teor de umidade ocasiona no aumento da atividade metabólica do grão, levando ao aumento da atividade enzimática, propiciando alterações mais profundas durante a germinação. Não obstante, nesta investigação, o aumento da umidade ao fim da maceração (A) e o aumento do tempo de germinação (C) não resultaram - de forma

Tabela 3.8: Diferentes parâmetros de qualidade e processo obtidos durante a otimização da malteação de trigo barbela, em percentual.

A	B	C	Umidade		Proteína		KI	Extrato	Açúcar redutor	
			Maceração	Malte	Malte	Mosto			Mosto	Malte
45	15	6	45,86 ± 0,14	10,84 ± 0,85	15,39 ± 0,03	5,04 ± 4,88	32,76	77,86 ± 3,50	1,51 ± 0,18	0,28 ± 0,10
45	20	6	44,92 ± 0,68	10,08 ± 0,16	15,84 ± 0,07	5,41 ± 0,57	34,19	78,36 ± 6,70	0,86 ± 0,08	0,18 ± 0,01
50	20	6	51,97 ± 0,36	10,04 ± 0,57	14,28 ± 0,26	4,75 ± 0,72	33,24	78,96 ± 3,60	0,21 ± 0,13	0,11 ± 0,04
40	25	4	39,94 ± 0,18	8,70 ± 1,54	14,56 ± 0,10	4,68 ± 1,01	32,10	76,62 ± 9,00	1,50 ± 0,18	0,25 ± 0,13
50	15	4	50,35 ± 0,97	10,13 ± 0,47	15,62 ± 0,64	4,88 ± 0,29	31,25	77,40 ± 1,40	0,29 ± 0,05	0,11 ± 0,05
45	20	6	44,10 ± 0,09	9,96 ± 0,04	14,98 ± 0,26	4,98 ± 0,44	33,23	79,70 ± 0,50	0,19 ± 0,07	0,08 ± 0,03
45	25	6	45,53 ± 0,29	9,30 ± 0,85	15,88 ± 0,39	5,28 ± 0,26	33,23	75,38 ± 7,80	0,92 ± 0,17	0,50 ± 0,24
50	25	8	49,30 ± 0,38	10,11 ± 0,24	14,96 ± 0,35	4,39 ± 0,44	29,33	74,56 ± 6,00	0,16 ± 0,04	0,16 ± 0,22
45	20	8	45,02 ± 0,02	9,96 ± 0,92	15,27 ± 0,40	4,94 ± 0,04	32,33	84,58 ± 0,30	0,29 ± 0,01	0,15 ± 0,09
50	25	4	49,58 ± 0,64	9,68 ± 0,72	15,33 ± 0,16	4,75 ± 0,01	31,01	80,30 ± 3,40	0,26 ± 0,03	0,07 ± 0,05
50	15	8	49,89 ± 0,09	9,54 ± 0,02	14,70 ± 0,01	5,27 ± 0,68	35,86	83,84 ± 8,50	1,58 ± 0,06	0,73 ± 0,46
45	20	4	46,26 ± 0,12	9,38 ± 0,60	15,04 ± 0,03	4,89 ± 0,16	32,54	81,90 ± 0,80	0,25 ± 0,01	0,17 ± 0,22
40	20	6	39,99 ± 0,29	7,61 ± 1,01	15,08 ± 0,00	5,27 ± 0,16	34,94	84,74 ± 6,50	0,30 ± 0,05	0,08 ± 0,04
40	25	8	40,73 ± 0,44	8,52 ± 0,04	14,50 ± 0,20	4,66 ± 0,07	32,13	84,92 ± 4,00	1,35 ± 0,25	0,04 ± 0,01
40	15	4	40,00 ± 0,53	8,69 ± 0,87	14,90 ± 0,38	4,56 ± 0,14	30,62	76,66 ± 5,80	1,77 ± 0,07	0,07 ± 0,02
40	15	8	40,87 ± 1,93	81,64 ± 1,48	14,45 ± 0,19	4,50 ± 0,26	31,17	84,44 ± 1,80	1,49 ± 0,14	0,22 ± 0,11
45	20	6	44,86 ± 0,03	11,01 ± 0,77	15,19 ± 0,28	4,52 ± 0,63	29,77	76,74 ± 8,20	1,34 ± 0,24	0,45 ± 0,25
45	20	6	44,70 ± 0,55	10,48 ± 0,54	14,91 ± 0,06	4,63 ± 1,08	31,08	74,68 ± 4,20	1,20 ± 0,35	0,15 ± 0,05

abrangente - no ganho da qualidade do malte [77, 89].

É complexo definir um malte, característica ou tratamento como o pior ou melhor, dentre todos os outros, visto a diversidade de maltes e objetivos de aplicação existentes. Todavia, de forma geral, pode-se afirmar que a presença e estabilidade da espuma são características importantes em cervejas baseadas em malte de trigo. Cientes de que tais características são fortemente associadas à presença de proteína na bebida, é admissível dizer que a elevada taxa de solubilização de proteínas no mosto (KI) é uma característica de interesse e que deve ser enfatizada em maltes de trigo. Ao investigarmos a correlação entre as variáveis dependentes, constata-se que apenas o teor proteico do mosto e o KI estatisticamente significativa ($\rho = +0,87$). Outros estudos não encontraram a mesma correlação.

No que tange umidade do grão nas diferentes fases da malteação. Observa-se que o teor de massa úmida ao fim da etapa de maceração esteve próximo ao almejado no delineamento (Figura 3.8), demonstrando bom controle desta etapa no processo. Já para a umidade final do malte (Figura 3.9), observamos teores entre 7,6 e 11,0%. Tais valores não diferem dos encontrados em ensaios preliminares, todavia, estes não são ideais para a manutenção da qualidade do malte, não atingindo os valores recomendados pela literatura ($\leq 4\%$). Isso demonstra a necessidade de adequação do perfil de secagem (Figura 2.3b) adotado no beneficiamento do trigo barbela [25].

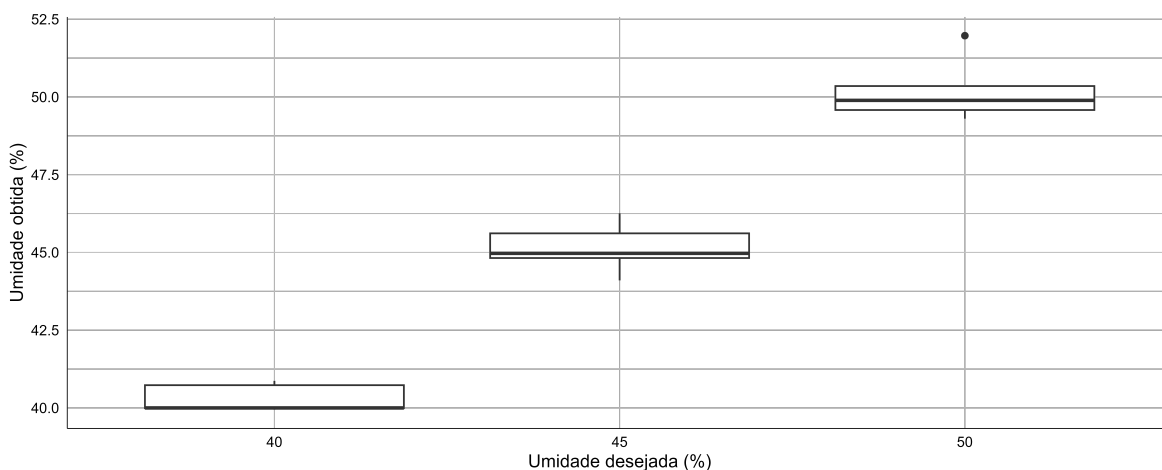


Figura 3.8: Gráfico de extremos e quartis da umidade ao fim da maceração para os diferentes níveis delineados.

Ao observarmos o percentual de grãos germinados (Figura 3.10) durante o estudo de otimização, nota-se que o percentual médio de grãos germinados nos ensaios com duração de 6 dias (87,57%) foi superior ao dos ensaios de 8 dias (80,60%). Desta forma, o aumento nos dias de germinação - em especial, entre o sexto e o oitavo dia - não refletiu no aumento de grãos germinados.

Apesar de não constataremos diferenças estatisticamente significativas para os percentuais médios, independente do tempo de germinação, os valores obtidos para "4 dias" de germinação são expressivamente menores (73,20 %), quando comparados aos outros dois níveis, divergindo dos valores apresentados na literatura para outras

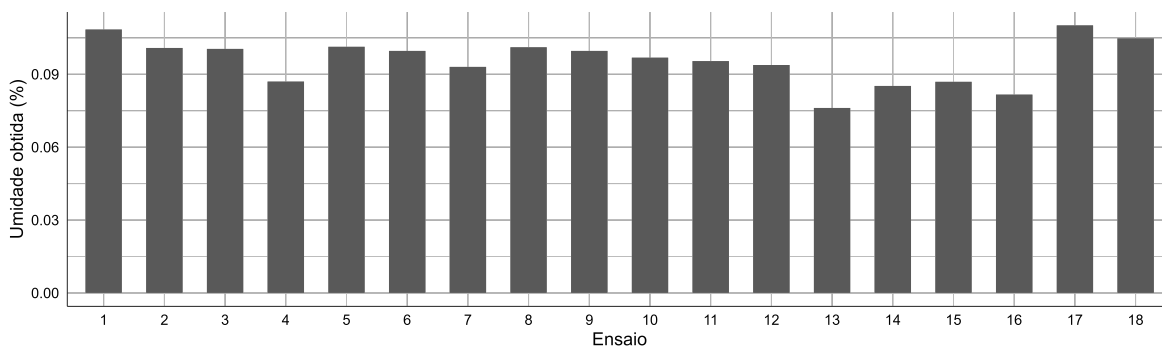


Figura 3.9: Percentuais de umidade dos diferentes maltes produzidos durante a otimização.

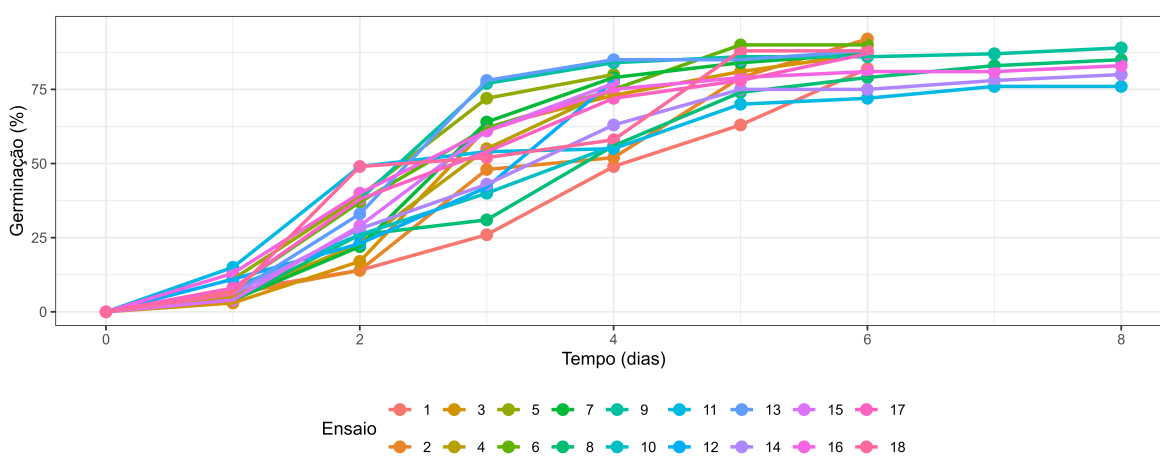


Figura 3.10: Percentual de grãos germinados nos diferentes ensaios.

variedades de trigo (Tabela 3.3). O percentual de grãos germinados nos ensaios divididos pelos diferentes níveis de tempo avaliado é apresentado na Figura C.1.

3.3.1 Ajuste de modelo e análise de superfície de respostas

Apesar de constatadas interações significativas (Tabela 3.9), as funções ajustadas (FO, TWI e PQ) obtidas nesta investigação, ao serem avaliadas estatisticamente por meio da *ANOVA*, não apresentaram qualquer significância. Apesar do mencionado, a representação gráfica dos modelos ajustados são apresentadas na sequência. Para maior detalhamento do resultado estatístico, veja a Tabela C.2, nos Apêndices.

Todos os modelos obtidos são de segunda ordem (quadráticos). No modelo ajustado para o extrato (Equação 3.2) nota-se a influência negativa da interação de todos as variáveis independentes. Linearmente, a temperatura de germinação (B) apresenta influência positiva, assim como as demais variáveis (A e C) em segunda ordem. Pela superfície obtida (Figura 3.11) é possível notar que valores altos de extrato são obtido por tempos de germinação mais longos, em especial quando associados a umidade menores.

Tabela 3.9: Resultados do modelo ajustado para as variáveis resposta.

	Intercepto	A	B	C	A:B	A:C	B:C	A ²	B ²	C ²	
Proteína no malte	Constante	0,140	0,027	-0,017	0,003	0,000	-0,001	0,001	-0,006	0,004	-0,001
	Erro padrão	0,015	0,012	0,012	0,012	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
	<i>t</i> – valor	9,418	2,263	-1,441	0,258	0,206	-0,618	0,745	-2,216	1,308	-0,463
	<i>p</i> – valor	< 0,001	0,053	0,188	0,803	0,842	0,554	0,478	0,058	0,227	0,656
Proteína no Mosto	Constante	0,030	0,008	0,003	0,009	-0,002	0,000	-0,001	-0,001	0,000	-0,002
	Erro padrão	0,012	0,009	0,009	0,009	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
	<i>t</i> – valor	2,592	0,806	0,291	1,019	-1,294	0,110	-0,712	-0,491	0,210	-0,934
	<i>p</i> – valor	0,032	0,443	0,779	0,338	0,232	0,915	0,496	0,637	0,839	0,377
KI	Constante	0,225	-0,008	0,055	0,056	-0,012	0,003	-0,009	0,006	-0,005	-0,010
	Erro padrão	0,058	0,046	0,046	0,046	0,006	0,006	0,006	0,011	0,011	0,011
	<i>t</i> – valor	3,847	-0,164	1,195	1,209	-1,856	0,474	-1,372	0,575	-0,453	-0,978
	<i>p</i> – valor	0,005	0,874	0,266	0,261	0,101	0,648	0,207	0,581	0,663	0,357
Extrato	Constante	0,679	-0,027	0,176	-0,039	-0,009	-0,019	-0,015	0,018	-0,035	0,032
	Erro padrão	0,092	0,074	0,074	0,074	0,010	0,010	0,010	0,017	0,017	0,017
	<i>t</i> – valor	7,343	-0,373	2,399	-0,532	-0,868	-1,957	-1,484	1,046	-2,053	1,869
	<i>p</i> – valor	< 0,001	0,719	0,043	0,609	0,411	0,086	0,176	0,326	0,074	0,099
Açúcar redutor no malte	Constante	-0,003	0,005	-0,004	0,003	-0,001	0,001	-0,001	-0,001	0,002	-0,001
	Erro padrão	0,005	0,004	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
	<i>t</i> – valor	-0,735	1,373	-0,953	0,886	-1,550	1,957	-2,262	-1,460	2,032	-0,690
	<i>p</i> – valor	0,483	0,207	0,369	0,401	0,160	0,086	0,054	0,183	0,077	0,510
Açúcar redutor no mosto	Constante	0,027	0,004	-0,026	0,008	-0,001	0,002	-0,002	-0,002	0,007	-0,002
	Erro padrão	0,016	0,013	0,013	0,013	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003
	<i>t</i> – valor	1,684	0,275	-2,057	0,640	-0,763	1,189	-0,924	-0,757	2,522	-0,706
	<i>p</i> – valor	0,131	0,791	0,074	0,540	0,467	0,269	0,382	0,471	0,036	0,500

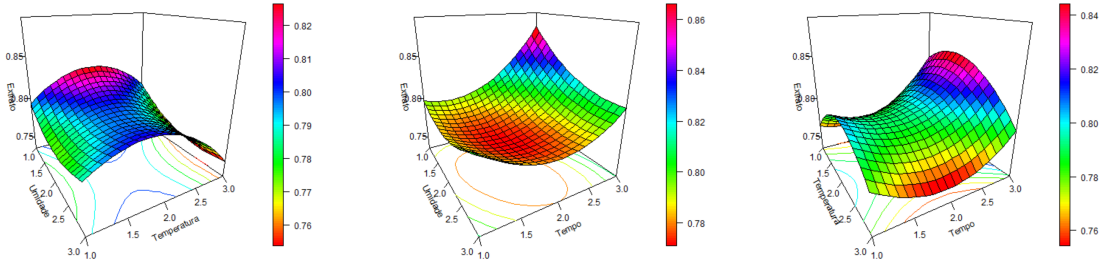


Figura 3.11: Influência das variáveis independentes sobre o extrato.

$$Extrato = \frac{-27A + 176B - 39 - 9AB - 19AC - 15BC + 18A^2 - 35B^2 - 32C^2 + 679}{1000} \quad (3.2)$$

Já ao investigarmos os parâmetros relacionados a proteína (Figura 3.12), os modelos ajustados, Equações 3.3, 3.4 e 3.5, não apresentam comportamento consonante, ou seja, variações nas variáveis independentes resultam em comportamento distinto sobre as respostas. Assumindo que a conversão da proteína presente no malte em proteína solúvel (KI) é um fator de destaque, é possível observar a tendência de máximos com valores elevados de umidade (A), baixos de temperatura (B) e medianos de tempo (C).

$$KI = \frac{-8A + 55B + 56C - 12AB + 3AC - 9BC + 6A^2 - 5B^2 - 10C^2 + 225}{1000} \quad (3.3)$$

$$Pt_{malte} = \frac{27A - 17B + 3C - AC + BC - 6A^2 + 4B^2 - C^2 + 140}{1000} \quad (3.4)$$

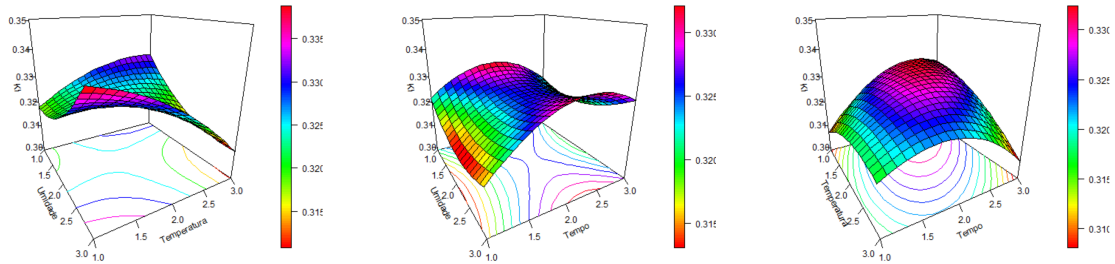
$$Pt_{mosto} = \frac{8A + 3B + 9C - 2AB - BC - A^2 - 2C^2 + 30}{1000} \quad (3.5)$$

No atribuível ao teor de açúcares redutores (Figura 3.13), os modelos ajustados (Equações 3.6 e 3.7) apresentaram termos com mesma orientação e intensidades distintas, exceptuando-se o intercepto. Isto quer dizer que a influência das variáveis independentes, assim como suas interações, influenciam o teor de açúcares redutores de maneira similar, tanto no malte, quanto no mosto.

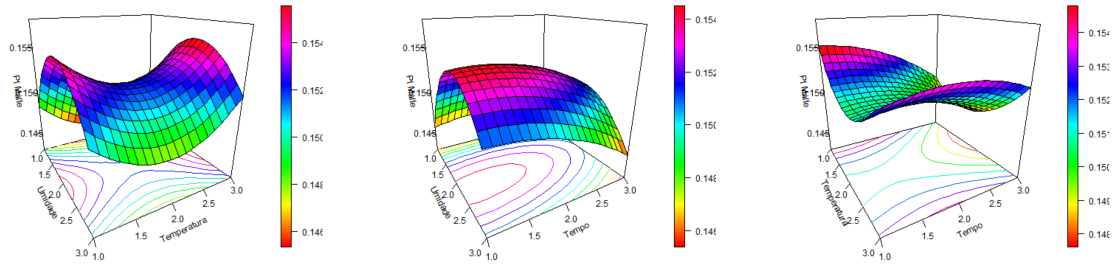
$$AR_{malte} = \frac{5A - 4B + 3C - AB + AC - BC - A^2 + 2B^2 - C^2 - 3}{1000} \quad (3.6)$$

$$AR_{mosto} = \frac{4A - 26B + 8C - AB + 2(AC - BC - A^2 - C^2) + 7B^2 + 27}{1000} \quad (3.7)$$

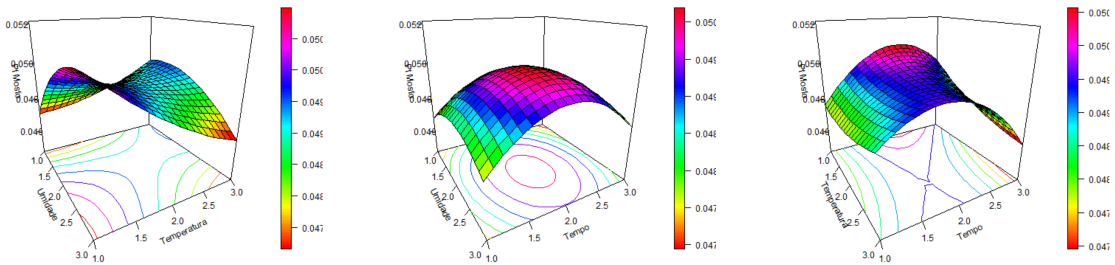
Como já mencionado, os modelos ajustados para variáveis respostas aqui analisadas não apresentaram significância estatística. Outros trabalhos também analisaram o teor



(a) KI

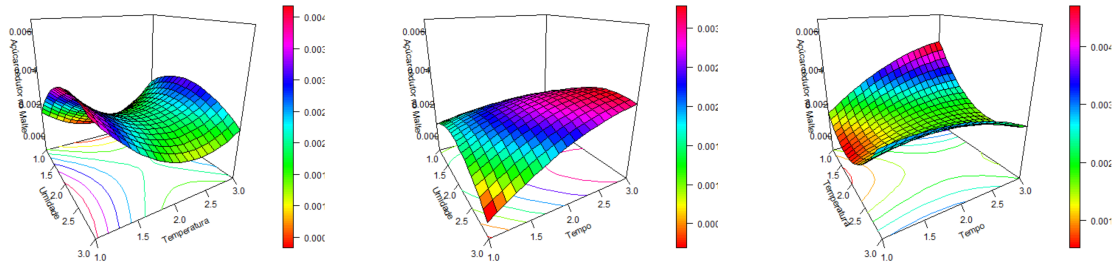


(b) Proteína - Malte

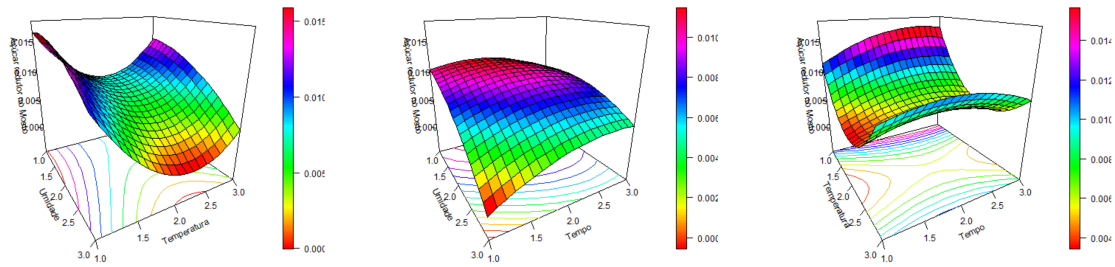


(c) Proteína - Mosto

Figura 3.12: Influência das variáveis independentes sobre o KI (a) e os teores de proteína no malte (b) e mosto (c)



(a) Açúcar redutor - Malte



(b) Açúcar redutor - Mosto

Figura 3.13: Influência das variáveis independentes sobre os teores de açúcares redutores do malte (a) e mosto (b).

de nitrogênio solúvel, nitrogênio amoniacal livre, limite aparente de atenuação, pH, coloração pela escala EBC (*European Brewery Convention*) e viscosidade do mosto [18, 19]. Reavaliar a maltagem do trigo barbela por estes parâmetros pode contribuir aos achados deste trabalho.

3.4 A influência da torra do malte

Antes da avaliação do *e-nose* e da determinação do perfil de ácidos gordos, os maltes produzidos com diferentes torras tiveram os respectivos teores de umidade, proteína e matéria gorda mensurados.

Visualmente, não é possível constatar diferença nos parâmetros (umidade, proteína e matéria gorda) avaliados para os maltes de CI (Figura 3.14). Os valores de %*U* e %*Pt* não divergem dos observados na avaliação prévia deste trabalho (Seção 3.1). A similaridade visual relatada é reafirmada estatisticamente (Tabela 3.10), visto que apenas o teor de umidade apresentou diferenças estatisticamente significativas pelo teste t de Student ($p - \text{valor} < 0,05$), ou seja, os teores proteicos e de matéria gorda não apresentaram diferenças significativas pelo mesmo teste.

Já para os maltes de CR (Figura 3.15) é indiscutível a diferença do teor de umidade, com redução de mais de 50% entre as amostras *CR60* e *CR180*. Tal fato evidencia que

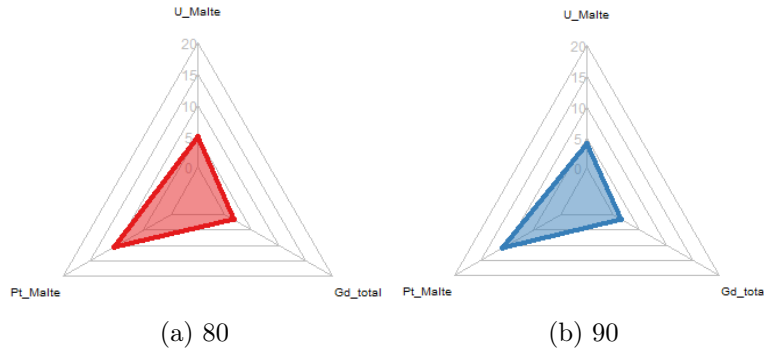


Figura 3.14: Composição de maltes de centeio ibérico com diferentes torras.

Tabela 3.10: Parâmetros analisados dos maltes de centeio ibérico produzidos com diferentes torras.

Torra	Umidade (%)	Proteína (%)	Gordura (%)
80	$5,01 \pm 0,06^a$	$10,39 \pm 0,17^a$	$1,67 \pm 0,18^a$
90	$3,94 \pm 0,06^b$	$10,81 \pm 0,33^a$	$1,52 \pm 0,18^a$

Letras distintas nas colunas, representam diferença estatisticamente significativa ($p - valor < 0,05$) pelo Teste t de Student.

os maltes com menor tempo de torra não se aproximaram da umidade de equilíbrio (U_e). Se mantidos os parâmetros de processo, o teor de água em um alimento tende a diminuir até atingir a U_e , ponto no qual a transferência de massa (neste caso, a umidade) entre o ar ambiente e o alimento é equânime.

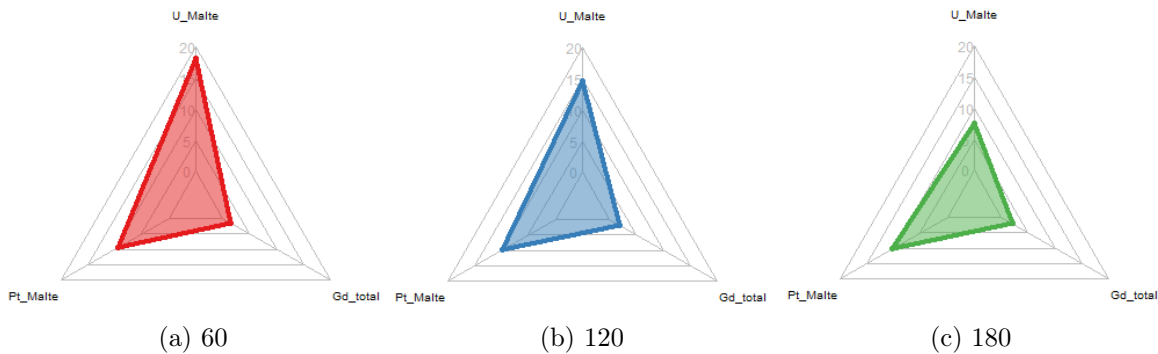


Figura 3.15: Composição de maltes de cevada rabuda com diferentes torras.

Pensando na segurança alimentar, valores elevados de % U são um risco à qualidade do alimento e à saúde do consumidor, visto que - além de prejudicar a conservação - torna o alimento suscetível ao desenvolvimento microbiano, em especial de fungos. A diferença de umidade nos maltes com diferentes torras é tão expressiva que apresentou diferença estatisticamente significativa (Tabela 3.11). Para os demais macrocomponentes analisados, apenas o teor proteico de $CR60$ e $CR180$ diferenciaram

significativamente.

Tabela 3.11: Parâmetros analisados dos maltes de cevada rabuda produzidos com diferentes torras.

Torra	Umidade (%)	Proteína (%)	Gordura (%)
60	18,26 ± 0,89 ^a	9,34 ± 0,06 ^b	1,56 ± 0,06 ^a
120	14,70 ± 0,04 ^b	9,91 ± 0,15 ^{ab}	1,95 ± 0,29 ^a
180	7,47 ± 0,39 ^c	10,29 ± 0,14 ^a	2,06 ± 0,05 ^a

Letras distintas nas colunas, representam diferença estatisticamente significativa ($p - \text{valor} < 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Em relação à concentração de matéria gorda total, os valores obtidos nessa investigação - entre 1,5 e 2,1%, condiz com o relatado na literatura, para diferentes maltes e coprodutos da malteação [90, 91].

De forma geral, as diferentes torras alteraram significativamente a umidade final dos maltes de ambos os cereais. Parâmetro importante para a conservação e qualidade microbiológica do produto. Como já mencionado, mudanças no programa de secagem (tempo, temperatura e/ou velocidade do ar) afetam expressivamente a quantia de massa úmida em alimentos, logo, convergindo com a teoria.

A literatura [23, 25, 81] reporta que parâmetros como o extrato padrão, atividade diastática e composição de açúcares costumam ser expressivamente afetados pela torra. Apesar disso, no nosso estudo, por limitações de tempo, não foram avaliados.

3.4.1 Perfil de ácidos gordos

Com base no cromatograma padrão 37-Component FAME Mix da Supelco (Figura 2.12), ao todo, foram identificados 13 ésteres metílicos de ácidos gordos (EMAG) distintos nos maltes de centeio ibérico, e 10 nos maltes de cevada rabuda. Para tratamento e avaliação dos resultados, não foram considerados EMAG com teores inferiores à 1%. Os ácidos derivatizados considerados são apresentados nos cromatogramas de cada malte (Figuras 3.16 e 3.17).

Os percentuais dos ácidos gordos considerados foram corrigidos e são apresentados nas Tabelas 3.12 e 3.13. Para todos os maltes, o teor de ácido linoleico foi majoritário, seguido do ácido palmítico. Na terceira posição, para o centeio ibérico temos o ácido α -linolênico (9,21%); para a cevada rabuda, o ácido oleico (8,64%).

Os principais ácidos gordos identificados são análogos, havendo apenas o acréscimo do ácido palmitoléico nos maltes de cevada rabuda. A presença desses ácidos gordos é condizente com o teórico esperado, visto que em sua maioria são insaturados, sendo os ácidos esteárico e palmítico comuns no metabolismo vegetal [92]. Diferentes estudos também identificaram concentrações expressivas destes mesmos ácidos gordos em maltes de diferentes cereais e coprodutos da malteação [90, 91, 93, 94, 95]

Ao compararmos os perfis de ácidos gordos nas diferentes torras, não foram constatadas diferenças significativas estatisticamente, pelo teste t de Student para os maltes de centeio ibérico, e pela ANOVA para os maltes de cevada rabuda. Acredita-se

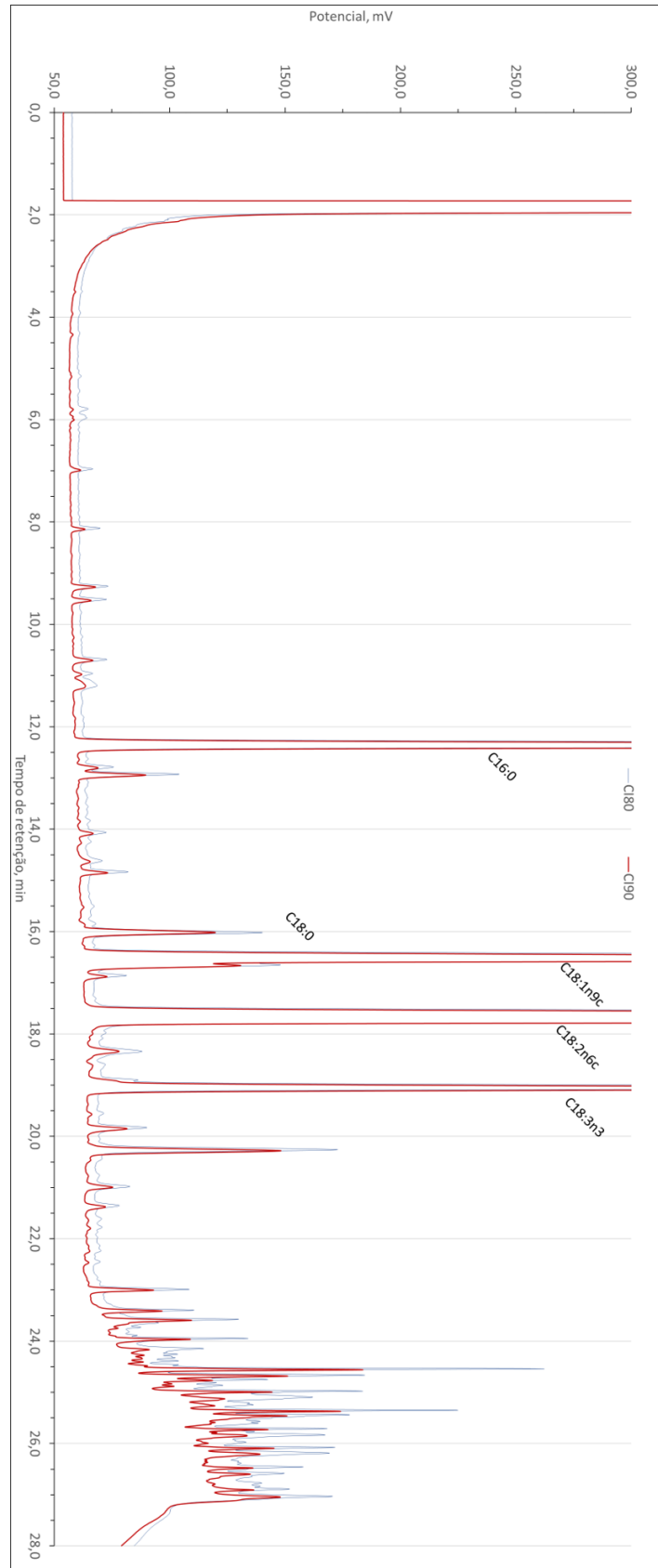


Figura 3.16: Cromatograma dos maltes de centeio ibérico com diferentes torras.

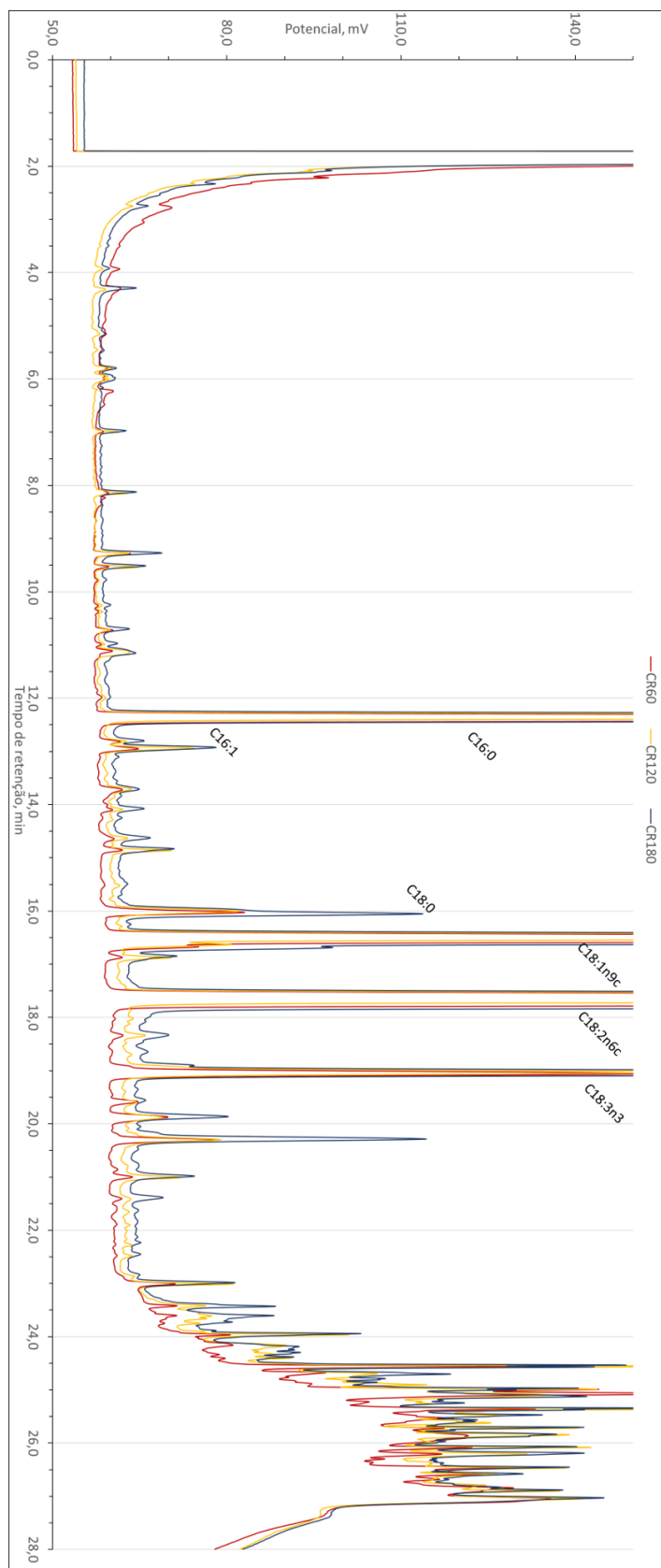


Figura 3.17: Cromatograma dos maltes de cevada rabuda com diferentes torras.

Tabela 3.12: Perfil de ácidos gordos presentes em maltes de centeio ibérico com diferentes torras

Ácido gordo		CI80 (%)	CI90 (%)
Ácido palmítico	C16:0	18,93 ± 0,59	19,06 ± 0,30
Ácido esteárico	C18:0	1,22 ± 0,22	1,16 ± 0,22
Ácido oleico	C18:1n9c	8,60 ± 0,42	8,40 ± 0,50
Ácido linoleico	C18:2n6c	62,13 ± 1,00	62,07 ± 0,49
Ácido α -linolênico	C18:3n3	9,12 ± 0,23	9,30 ± 0,41
Conteúdo gordo total (g)		1,67 ± 0,18	1,52 ± 0,18

Os maltes não apresentaram diferenças significativas do perfil gordo, pelo teste t de Student ($p - valor < 0, 05$).

Tabela 3.13: Perfil de ácidos gordos presentes em maltes de cevada rabuda com diferentes torras.

Ácido gordo		CR60 (%)	CR120 (%)	CR180 (%)
Ácido palmítico	C16:0	29,22 ± 5,17	20,75 ± 2,22	20,20 ± 0,19
Ácido pamioléico	C16:1	2,11 ± 2,03	0,47 ± 0,28	0,39 ± 0,24
Ácido esteárico	C18:0	1,86 ± 0,99	1,07 ± 0,05	1,16 ± 0,01
Ácido oleico	C18:1n9c	8,25 ± 1,25	9,30 ± 0,22	9,03 ± 0,15
Ácido linoleico	C18:2n6c	56,59 ± 7,25	63,61 ± 2,06	64,09 ± 0,20
Ácido α -linolênico	C18:3n3	1,97 ± 2,24	4,80 ± 0,40	5,13 ± 0,37
Conteúdo gordo total (g)		1,56 ± 0,06	1,95 ± 0,29	2,06 ± 0,05

Os maltes não apresentaram diferenças significativas do perfil gordo, pelo teste de Tukey ($p - valor < 0, 05$).

que a alta variabilidade dos dados contribuiu para tal fato. Nota-se ainda que não há um comportamento comum e fixado para a variação dos teores dos diferentes ácidos em relação às torras.

Nos maltes de centeio ibérico, o aumento da temperatura de torra acarretou no aumento das concentrações dos ácidos palmítico e α -linolênico, com a redução dos demais. Em contrapartida, nos maltes de cevada rabuda, o aumento do tempo de torra ensejou no aumento nos teores dos ácidos linoleico e α -linolênico, variação não uniforme dos ácidos esteárico e oleico, com queda dos demais. Em todo caso, a variação apresentada é pouco expressiva, de modo que não é possível afirmar se a variação nas torras se dá por efeito do tratamento ou pela heterogeneidade natural do cereal integral.

Não foram encontrados outros trabalhos que avaliassem a variação no perfil de ácidos gordos em função do tempo de torra, todavia, investigação avaliando maltes para a produção de *whisky* identificou tal variação em função da temperatura de fermentação [93], neste, variações lineares e não lineares foram observadas para os diferentes ácidos gordos mensurados.

Não é possível dissimular a alta variabilidade dos conteúdos de ácidos gordos obtidos nos diferentes maltes, com coeficientes de variação para alguns ácidos ultrapassando 18% para maltes CI e 100% para maltes CR (Tabela 3.14). Os diferentes valores

são oriundos da determinação do perfil de ácidos gordos de diferentes repetições de um mesmo processo e podem ser justificados pela heterogeneidade esperada de cereais tradicionais. Achados similares não foram relatados na literatura.

Tabela 3.14: Coeficiente de variação do perfil de ácidos gordos nos diferentes maltes produzidos.

Ácido gordo	CI80 (%)	CI90 (%)	CR60 (%)	CR120 (%)	CR180 (%)
C16:0	3,14	1,58	17,70	10,70	0,96
C16:1	nd	nd	96,16	60,17	61,98
C18:0	18,09	18,90	53,27	5,11	1,21
C18:1n9c	4,85	6,01	15,15	2,37	1,70
C18:2n6c	1,62	0,79	12,80	3,25	0,31
C18:3n3	2,57	4,41	113,27	8,34	7,29

nd: não detectado na amostra.

Cozzolino *et. al* (2015) [91] investigou a relação entre o perfil de ácidos gordos e outros parâmetros de qualidade do malte e mosto. Tais relações não foram assertivas para as variedades de malte analisadas, sendo necessária maior investigação. Todavia, o trabalho apresenta correlações expressivas entre os teores de ácidos gordos obtidos, onde ácidos insaturados (oleico, linoleico e α -linolênico) e saturados (palmítico e esteárico) apresentaram forte correlação direta ($\rho > 0,80$). Ao analisarem os mostos padrões dos maltes avaliados, os autores não identificaram comportamento similar. Estes ácidos gordos apresentaram teores expressivos nos maltes produzidos nesta investigação.

A Figura 3.18 apresenta as correlações ($\alpha > 0,05$) entre cada um dos ácidos gordos identificados nos maltes de centeio ibérico (a) e cevada rabuda (b). A correlação direta e forte foi identificada apenas entre os ácidos palmitoléico-esteárico e oleico-linoleico em *CR*. Em *CI* a correlação direta e forte ocorreu apenas entre os ácidos palmítico e esteárico. Em contrapartida, forte correlação inversa foi identificada entre diversos ácidos gordos ($\rho < -0,80$) divergindo do estudo citado.

Destaca-se que o ácido α -linolênico não apresentou correlação estatisticamente significativa nos maltes de cevada rabuda. Pode ser interessante repetir tal análise, agregando maior número de repetições, como forma de driblar a heterogeneidade observada para o perfil de ácidos gordos dos cereais, além de agregar dados sobre outros parâmetros de qualidade do malte, de modo a entender devidamente a atuação dos ácidos gordos na produção cervejeira.

3.4.2 e-nose

A normalização das resistividades registradas facilita a observação das diferenças observadas. Sem este tratamento, os valores registrados se embaralhavam e confundiam visualmente (Figura 3.19). Todavia, deve-se destacar que quanto maior é o valor absoluto apresentado aqui, mais distante da média das resistividades registradas no sensor para o mesmo tratamento, o valor real está, ou ainda, menor o desvio padrão apresentado pelo conjunto.

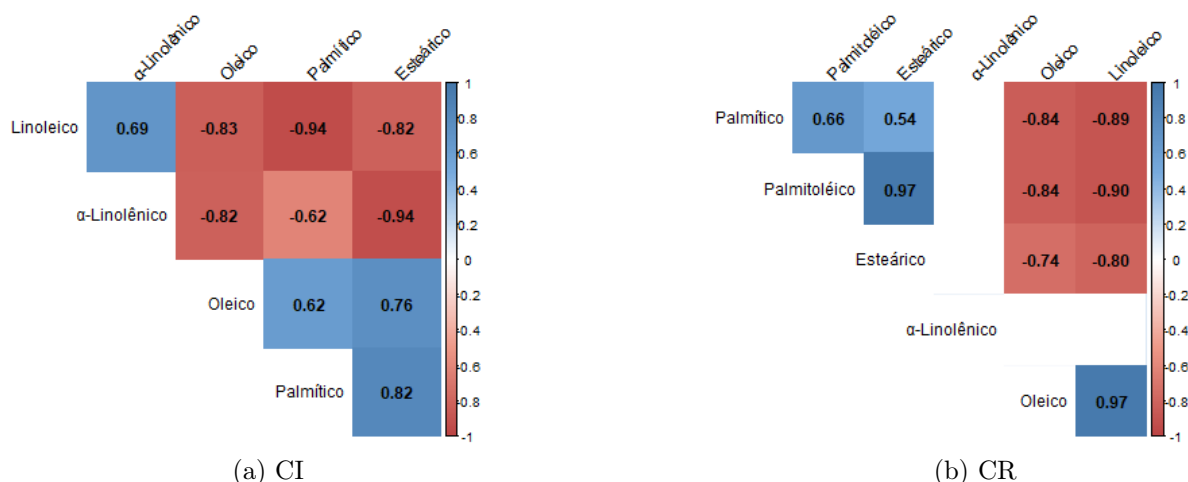


Figura 3.18: Correlações de Pearson significativas na composição de ácidos gordos dos maltes de centeio ibérico (a) e cevada rabuda (b).

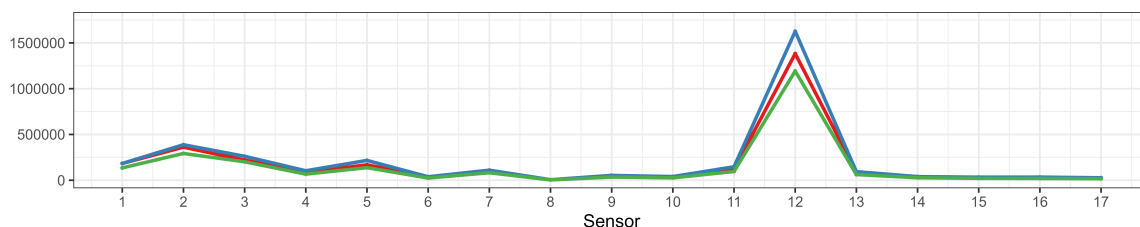
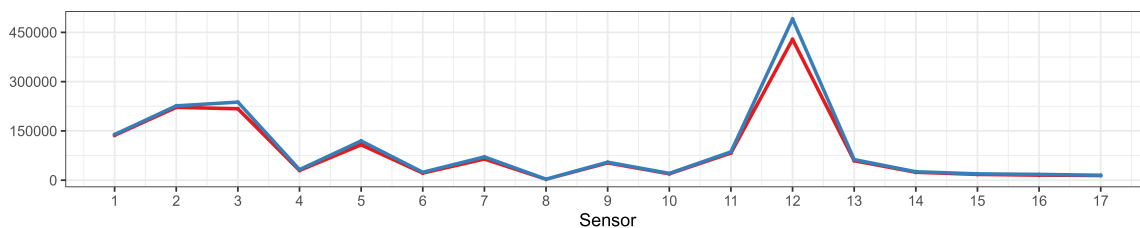
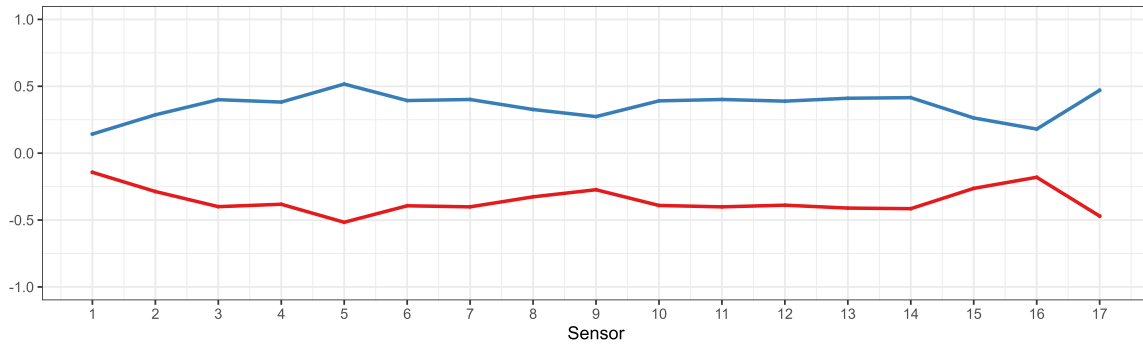


Figura 3.19: Exemplo dos registros reais do *e-nose* durante análise dos maltes.

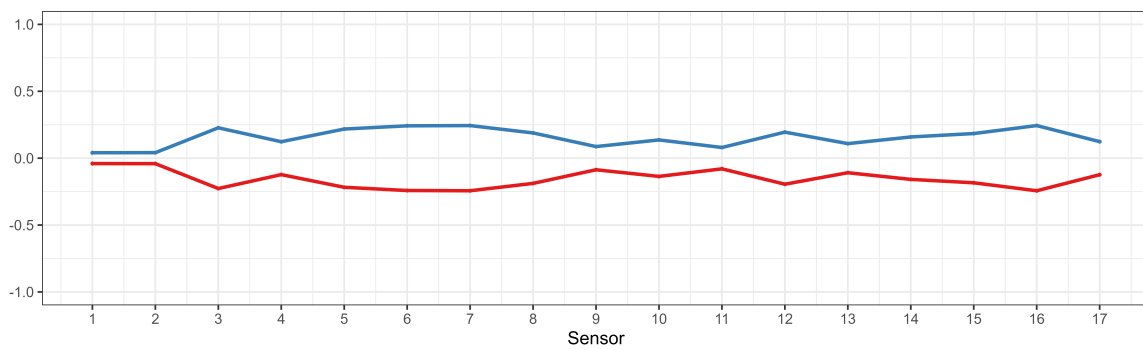
É importante que este fato fique claro, para que não haja erro na interpretação dos resultados, visto que, um valor normalizado maior difere de maior resistividade registrada. As resistividades originais podem ser observadas no Apêndice C.3.

Na Figura 3.20 apresentam-se os sinais registrados pelos diferentes sensores do *e-nose*. Nota-se que para todas as três formas em que o malte foi analisado - inteiro (I), triturado seco (TS) e triturado úmido (TU) - os valores registrados em *CI90* foram superiores.

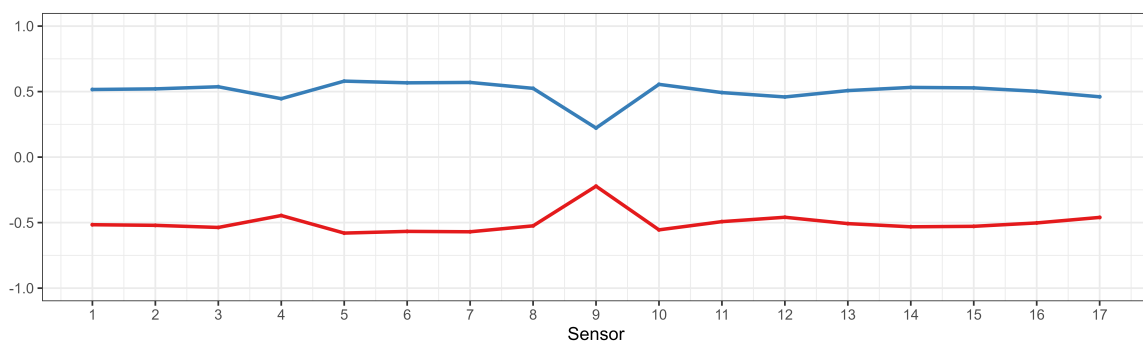
Comparando os diferentes tratamentos, constata-se que, para a maioria dos sensores, a amostra infundida em água apresentou valores normalizados absolutos superiores, quando comparadas com as demais (Figura 3.21). A única exceção verificou-se no



(a) Inteiro



(b) Triturado seco



(c) Triturado úmido

Figura 3.20: Resposta do *e-nose* para as diferentes torras do malte de centeio ibérico.

sensor nº 9 (*S9*), que apresentou valores ligeiramente superiores com o grão inteiro. É importante destacar que *S9* quantifica: monóxido de carbono; propano; metano, e; outros gases combustíveis.

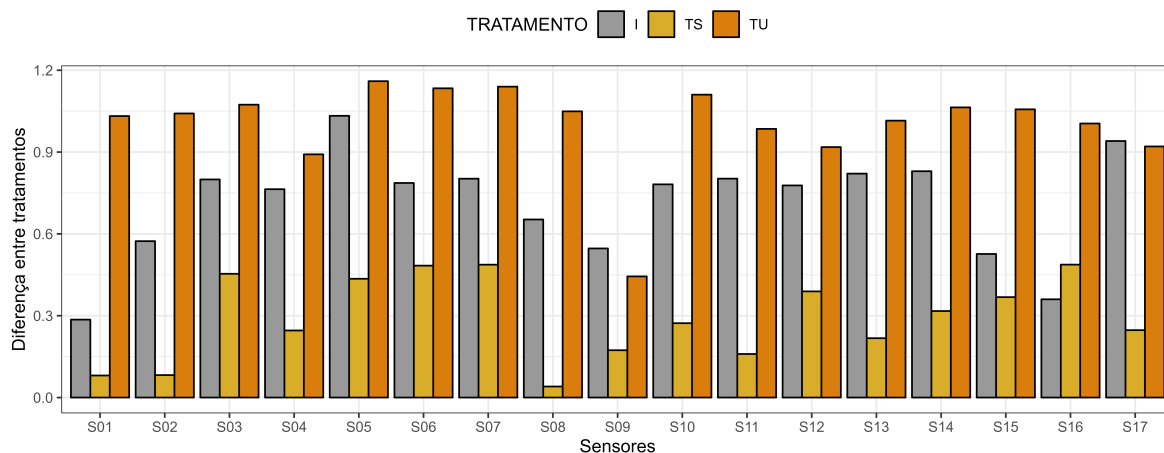


Figura 3.21: Amplitude dos registros de CI normalizados para os diferentes tratamentos.

Também é de salientar que, de modo geral, os valores normalizados do tratamento *TS*, em módulo, são inferiores aos de *I*, sendo *S16* (Gases orgânicos voláteis, n-hexano, álcool, fumo e monóxido de carbono) a única exceção.

Se considerarmos os valores reais registrados pelo *e-nose* (Figura C.2, o comportamento anteriormente descrito, para as comparações entre tratamentos, não é observado. O que nos indica que a forma como os dados foram normalizados não contribui para a comparação entre os tratamentos.

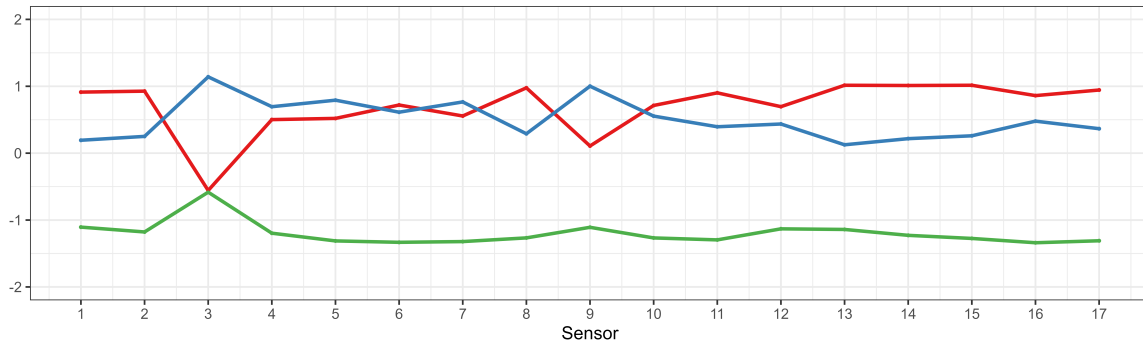
Para variados sensores - *TS* apresentou as maiores resistividades, comparativamente com os restantes, para a mesma torra. Em apenas dois casos o malte não triturado (*I*) apresentou valores superiores a infusão (*TU*), mas nunca, superiores ao triturado seco.

Ainda considerando os valores reais registrados pelo equipamento, observou-se que, em todos os tratamentos e torras de *CI* os valores mais elevados de resistividade foram observados em *S12*. Entre as resistividades dos maltes com diferentes torras de um mesmo tratamento, não foram significativas, segundo o teste t de Student ($\alpha = 0.05$).

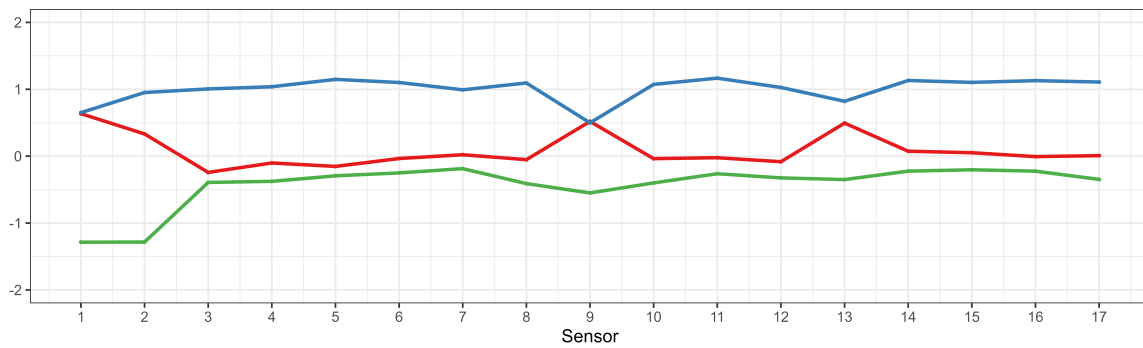
A análise dos valores reais registrados pelo *e-nose* para os maltes de *CI*, sugere que triturar o malte, permite a liberação de compostos voláteis, e que quando infundido, associam-se a água não sendo liberados ao ambiente, consequentemente não detetados pelo equipamento.

O paralelismo e simetria observado nos resultados normalizados obtidos de *CI*, não foram observados em *CR* (Figura 3.22). De modo geral, a torra 180 apresenta sempre os menores valores no que diz respeito os tratamentos *I* e *TS*, indicando perda de compostos aromáticos com o aumento do tempo de torra.

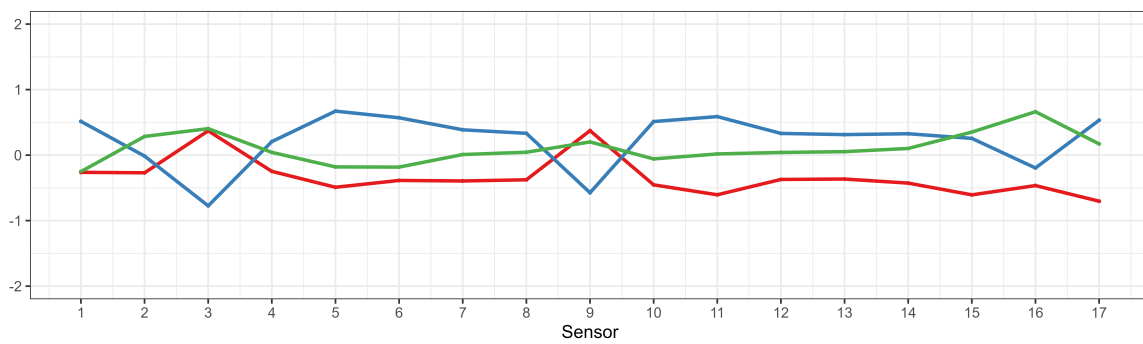
De forma geral, a torra 120 apresentou - com frequência - os maiores valores normalizados nos diferentes sensores em *TS* e *TU*. Já em *I* a torra com 60 minutos de duração apresentou os valores superiores com frequência superior. Ao compararmos a amplitude dos diferentes tratamentos, também não se pode destacar qualquer padrões



(a) Inteiro



(b) Triturado seco



Torra — 60 — 120 — 180

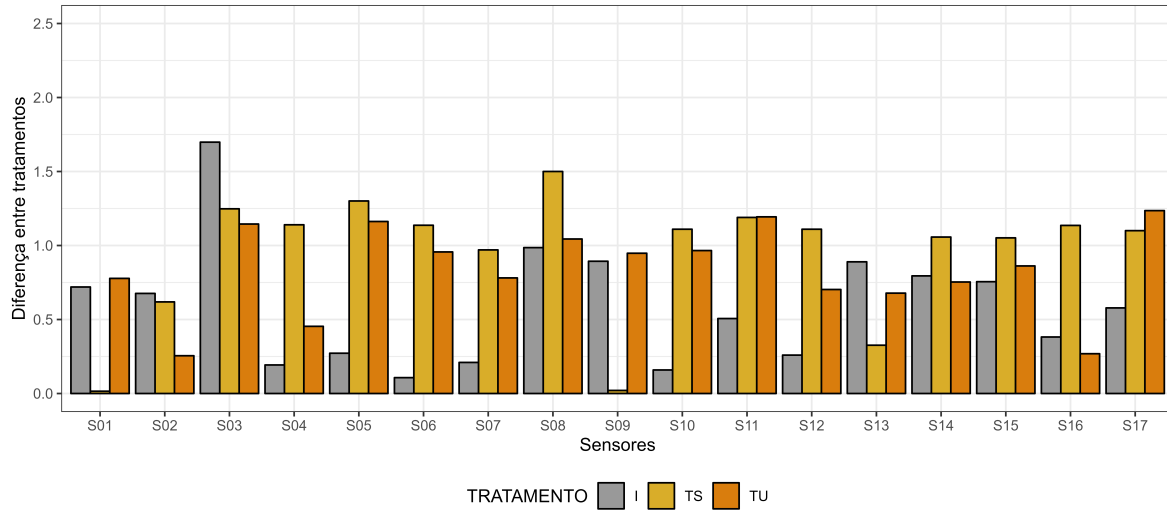
(c) Triturado úmido

Figura 3.22: Resposta do *e-nose* para as diferentes torras do malte de cevada rabuda.

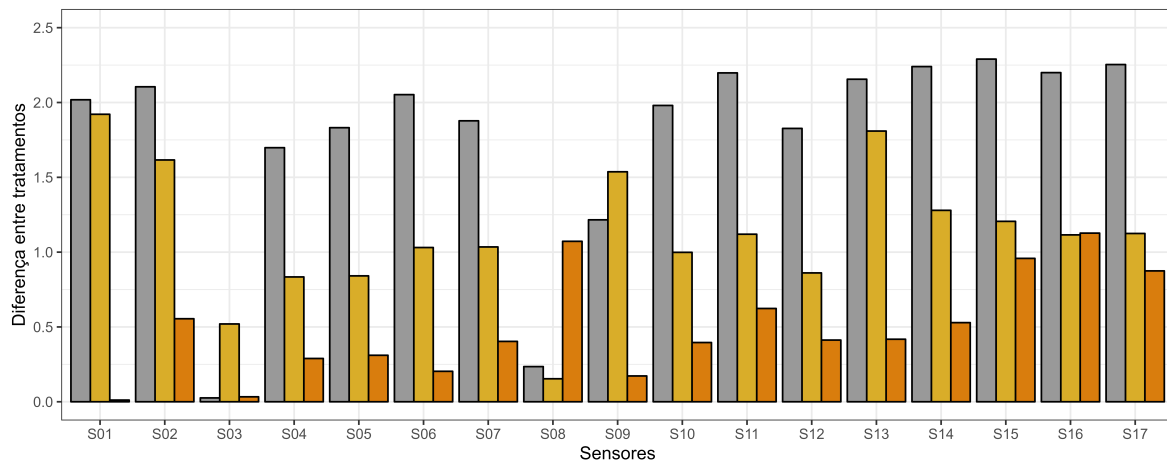
(Figura 3.23).

Observando os valores não normalizados, TS torna a apresentar os maiores valores registrados, enquanto TU tende a apresentar os menores, reforçando o já mencionado sobre a infusão. Novamente, constata-se um pico destoante de resistividade registrada em S12. Não foram encontrados estudos que relacionem os compostos voláteis com maltes ou outros alimentos de origem vegetal.

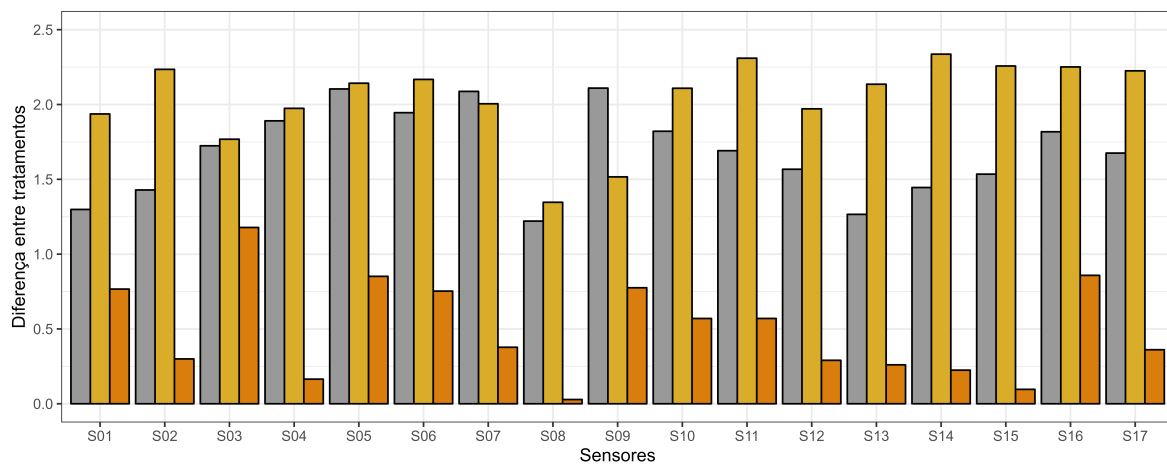
O sensor de número 12 (MQ9) é capaz de quantificar: monóxido de carbono; metano; propano; GLP; GN; gás de carvão, e; outros gases inflamáveis. Estranha-se que outros sensores, capazes de detetar parte das substâncias mencionadas não apresentaram quaisquer elevações nos registros. Ao total, 7 outros sensores são capazes de detetar parte dos compostos que MQ9 registra: S1, S4, S6, S7, S8, S9, S10, S11.



(a) CR120 - CR60



(b) CR180 - CR60



(c) CR180 - CR120

Figura 3.23: Amplitude dos registros normalizados para a cevada rabudae e aos diferentes tratamentos.

Capítulo 4

Conclusão

De forma geral, os maltes dos cereais tradicionais ibéricos produzidos nesta investigação correspondem aos padrões do mercado atual, sendo receptivos à produção de cor e aromas distintos por meio da torra. Apenas da distinção de cor e aroma constatadas nos maltes obtidos nas diferentes torras, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os macrocomponentes e o perfil de ácidos gordos.

Por meio do delineamento adotado, bem como pelas variáveis dependentes analisadas, não foi possível o ajuste de modelos estatisticamente significativos. Apesar de ser possível vislumbrar a influência da umidade ao fim da maceração, da temperatura e tempo de germinação sobre os parâmetros de qualidade do malte de trigo barbela, não foi possível fazer qualquer conclusão.

Faz-se necessário estudos mais robustos para melhor compreensão, controle e eficiência da produção de malte a partir dos cereais avaliados. Em especial, indica-se a investigação da germinação destes cereais, observando os principais fatores para melhora do percentual de grãos germinados ao longo do tempo.

A determinação dos teores de açúcares redutores por meio da DNS foi pouco influenciada pelo tamanho da malha do crivo. Ainda sobre o perfil de ácidos gordos, constata-se correlações fortes e significativas entre estes. Em contrapartida, a mosturação padronizada (tratamento térmico) foi estatisticamente significativa, o que sugere-a como uma alternativa célere para a avaliação da atividade enzimática (atividade diastática) de maltes.

Ao todo foram identificados 5 ácidos gordos distintos para as amostras oriundas de centeio ibérico; 6, para cevada rabuda. A torra parece não alterar significativamente o perfil de ácidos gordos, entretanto, constata-se forte correlação entre alguns dos ácidos quantificados. Para ambos os maltes, constatou-se forte relação inversa entre os percentuais dos ácidos linoleico e palmítico. Em contraposição, as relações entre oleico-linoleico, oleico-esteárico e oleico-palmítico, apesar de significativas, divergem para os maltes de ambos os cereais.

O nariz eletrônico (*e-nose*) se mostrou uma boa ferramenta na avaliação dos maltes, sendo evidente a distinção entre as amostras de diferentes torras. Para o centeio ibérico, o aumento da temperatura da torra acarretou no aumento dos valores registrados nos 17 sensores, independentemente do meio analisado. Já para a cevada rabuda, o aumento do tempo de torra não apresentou diferenciação nítida, havendo registros difusos. No que concerne ao meio analisado (inteiro, triturado seco ou triturado úmido), não houve consenso nos registros.

É nítida a possibilidade de produção de diferentes maltes (base, cor, aroma, etc.) a partir de cereais tradicionais ibéricos. Na atual conjuntura, acredita-se que a criação de protocolos/fluxogramas para a produção de diferentes maltes é o ponto chave para

impulsionar a adoção destes na indústria cervejeira e agregar valor à cadeia de produção dos cereais tradicionais ibéricos. Devendo-se orientar para a distinção do produto, em especial, pelas características sensoriais.

Bibliografia

- [1] Joseph Awika. *Major cereal grains production and use around the world*. ACS Publications, 2011.
- [2] Peter R. Shewry. Can we increase the use of wheat and other cereals as sources of protein? *Journal of Cereal Science*, 117:103899, 2024.
- [3] Christopher PF Marinangeli, Matthew G Nosworthy, and Anna-Kate Shoveller. Cereal proteins in the human diet: Reflecting on their contributions to daily protein intake. *Journal of Cereal Science*, 117:103908, 2024.
- [4] Ahsan Farooq, Nageen Farooq, Haseeb Akbar, Zia Ul Hassan, and Shabbir H Gheewala. A critical review of climate change impact at a global scale on cereal crop production. *Agronomy*, 13(1):162, 2023.
- [5] Meroda T Gari, Belete T Asfaw, Lata D Abo, Mani Jayakumar, and Gadisa Kefalew. Effective utilization of agricultural cereal grains in value-added products: A global perspective. *Value Added Products From Food Waste*, pages 41–58, 2024.
- [6] FAOstat2024. Faostat: Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, Novembro 2024.
- [7] Jørgen E Olesen and Marco Bindi. Consequences of climate change for european agricultural productivity, land use and policy. *European journal of agronomy*, 16(4):239–262, 2002.
- [8] Tania C C Villa, Nigel Maxted, Maria Scholten, and Brian Ford-Lloyd. Defining and identifying crop landraces. *Plant genetic resources*, 3(3):373–384, 2005.
- [9] Tove Ortman. New potential in old varieties: Using landrace cereal to meet food production challenges. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, (2024: 7), 2024.
- [10] Fatma Boukid, Silvia Folloni, Stefano Sforza, Elena Vittadini, and Barbara Prandi. Current trends in ancient grains-based foodstuffs: insights into nutritional aspects and technological applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1):123–136, 2018.
- [11] Kevin Murphy, Doug Lammer, Steve Lyon, Brady Carter, and Stephen S Jones. Breeding for organic and low-input farming systems: An evolutionary–participatory breeding method for inbred cereal grains. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20(1):48–55, 2005.
- [12] Noel Kingsbury. *Hybrid: the history and science of plant breeding*. University of Chicago Press, 2011.

-
- [13] John E Bradshaw. Plant breeding: past, present and future. *Euphytica*, 213:1–12, 2017.
- [14] Olfa Daaloul Bouacha, Sadok Nouaigui, and Salah Rezgui. Effects of n and k fertilizers on durum wheat quality in different environments. *Journal of cereal science*, 59(1):9–14, 2014.
- [15] Anoush Ficiciyan, Jacqueline Loos, Stefanie Sievers-Glotzbach, and Teja Tschardtke. More than yield: Ecosystem services of traditional versus modern crop varieties revisited. *Sustainability*, 10(8):2834, 2018.
- [16] Jon Hellin, Mauricio R Bellon, and Sarah J Hearne. Maize landraces and adaptation to climate change in mexico. *Journal of Crop Improvement*, 28(4):484–501, 2014.
- [17] Marta S Lopes, Ibrahim El-Basyoni, Peter S Baenziger, Sukhwinder Singh, Conxita Royo, Kursad Ozbek, Husnu Aktas, Emel Ozer, Fatih Ozdemir, and Alagu Manickavelu. Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of experimental botany*, 66(12):3477–3486, 2015.
- [18] Antonio Calvi, Giovanni Preiti, Marco Poiana, Ombretta Marconi, Martina Gastl, and Martin Zarnkow. Multi-response optimization of the malting process of an italian landrace of rye (*secale cereale* l.) using response surface methodology and desirability function coupled with genetic algorithm. *Foods*, 11(22):3561, 2022.
- [19] Antonio Calvi, Giovanni Preiti, Martina Gastl, Marco Poiana, and Martin Zarnkow. Malting process optimization of an italian common wheat landrace (*triticum aestivum* l.) through response surface methodology and desirability approach. *LWT*, 173:114242, 2023.
- [20] Ali Raza, Ali Razzaq, Sundas Saher Mehmood, Xiling Zou, Xuekun Zhang, Yan Lv, and Jinsong Xu. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2):34, 2019.
- [21] Loranzo Raggi, Leonardo Caproni, and Valeria Negri. Landrace added value and accessibility in europe: What a collection of case studies tells us. *Biodiversity and Conservation*, 30(4):1031–1048, 2021.
- [22] Henry Stopes. *Malt and Malting: An Historical, Scientific, and Practical Treatise*. LBS Archival Products, 1885.
- [23] Joseph D Hertrich. Topics in brewing: malting. *Technical Quarterly*, 50:29–41, 2013.
- [24] John Mallett. *Malt: a practical guide from field to brewhouse*. Brewers Publications, 2014.

- [25] Kunze Wolfgang. *Technology Brewing and Malting 3rd international edition*. VLB Germany, 2004.
- [26] Ali Ikram, Farhan Saeed, Muhammad Afzaal, Ali Imran, Bushra Niaz, Tabussam Tufail, Muzzamal Hussain, and Faqir Muhammad Anjum. Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review. *Food science & nutrition*, 9(8):4617–4628, 2021.
- [27] Mahalingam Ramamurthy. Analysis of the barley malt rootlet proteome. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(1), 2019.
- [28] Emma Neylon, Elke K Arendt, Kieran M Lynch, Emanuele Zannini, Paolo Bazzoli, Thomas Monin, and Aylin W Sahin. Rootlets, a malting by-product with great potential. *Fermentation*, 6(4):117, 2020.
- [29] S Olivares-Galván, ML Marina, and MC García. Extraction of valuable compounds from brewing residues: Malt rootlets, spent hops, and spent yeast. *Trends in Food Science & Technology*, 127:181–197, 2022.
- [30] Annika Wilhelmson, K-M Oksman-Caldentey, Arja Laitila, Tapani Suortti, Anu Kaukovirta-Norja, and Kaisa Poutanen. Development of a germination process for producing high β -glucan, whole grain food ingredients from oat. *Cereal Chemistry*, 78(6):715–720, 2001.
- [31] Lucie Jurkaninová, Václav Dvořáček, Veronika Gregusová, and Michaela Havrlentová. Cereal β -d-glucans in food processing applications and nanotechnology research. *Foods*, 13(3):500, 2024.
- [32] Raúl E Cian, Antonela G Garzón, Micaela Albarracín, and Silvina R Drago. Barley and malt as base ingredients for the production of new bio-functional foods. *Recent Progress in Nutrition*, 3(3), 2023.
- [33] Hyun-Jung Chung, Ahra Cho, and Seung-Taik Lim. Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle. *LWT-Food Science and Technology*, 47(2):342–347, 2012.
- [34] Hyun-Jung Chung, Ahra Cho, and Seung-Taik Lim. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1):260–266, 2014.
- [35] Soumya Bhol and Sowriappan J Don Bosco. Influence of malted finger millet and red kidney bean flour on quality characteristics of developed bread. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1):294–300, 2014.
- [36] Maria Iordan, Alexandru Stoica, and Elena C Popescu. Changes in quality indices of wheat bread enriched with biologically active preparations. *Annals Food Science and Technology*, 14(2), 2013.

- [37] Outi E Mäkinen and Elke K Arendt. Oat malt as a baking ingredient—a comparative study of the impact of oat, barley and wheat malts on bread and dough properties. *Journal of cereal science*, 56(3):747–753, 2012.
- [38] Outi E Mäkinen, Emanuele Zannini, and Elke K Arendt. Germination of oat and quinoa and evaluation of the malts as gluten free baking ingredients. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68:90–95, 2013.
- [39] Naofumi Morita, Tomoko Maeda, Michiyo Watanabe, and Shirou Yano. Pre-germinated brown rice substituted bread: dough characteristics and bread structure. *International Journal of Food Properties*, 10(4):779–789, 2007.
- [40] Natthaya Phattanakulkaewmorie, Tatdao Paseephol, and Anuchitac Moongngarm. Chemical compositions and physico-chemical properties of malted sorghum flour and characteristics of gluten free bread. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 5(9):532–538, 2011.
- [41] Florian Hübner, Tonya O’Neil, Kevin D Cashman, and Elke K Arendt. The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley. *European Food Research and Technology*, 231:27–35, 2010.
- [42] Yu-Wei Luo, Wei-Hua Xie, Xiao-Xiao Jin, Qian Wang, and Yi-Jian He. Effects of germination on iron, zinc, calcium, manganese, and copper availability from cereals and legumes. *CyTA-Journal of Food*, 12(1):22–26, 2014.
- [43] Slađana Žilić, Zorica Basić, Vesna H-T Šukalović, Vuk Maksimović, Marijana Janković, and Milomir Filipović. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? *International Journal of Food Science & Technology*, 49(4):1040–1047, 2014.
- [44] Hannah Elliott, Patrick Woods, Brian D Green, and Anne P Nugent. Can sprouting reduce phytate and improve the nutritional composition and nutrient bioaccessibility in cereals and legumes? *Nutrition Bulletin*, 47(2):138–156, 2022.
- [45] A K Singh, Jagbir Rehal, Amarjeet Kaur, and Gagan Jyot. Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(11):1575–1589, 2015.
- [46] Ricardo A G Matos. Cerveja: panorama do mercado, produção artesanal, e avaliação de aceitação e preferência. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- [47] Waldemar G Venturini Filho. Bebidas alcoólicas 2 ed., são paulo. *Editores Blucher*, 2016.

- [48] Murilo B de Andrade, Guilherme A Perim, Tássia R T dos Santos, and Rubiane G Marques. Influência do ph na cerveja artesanal. *Biochemistry and Biotechnology Reports*, 2(3esp):261–264, 2013.
- [49] Waldemar G Venturini Filho. *Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia, v. 1*. Editora Blucher, 2021.
- [50] Inc. BJCP, Beer Judge Certification Program. *2021 Beer Style Guidelines*. BJCP, 2021.
- [51] Carlos V Muller, Bernardo P Guimarães, and Grace F Ghesti. O controle oficial de uso de adjuntos em cerveja no brasil. *Revista Processos Químicos*, 15(29), 2021.
- [52] Cédric Brandam, Xuân-Mi Meyer, Jacques Proth, Pierre Strehaiano, and Hervé Pingaud. An original kinetic model for the enzymatic hydrolysis of starch during mashing. *Biochemical Engineering Journal*, 13(1):43–52, 2003.
- [53] Bruno V Humia, Klebson S Santos, Jaderson K Schneider, Ingrid L Leal, Gabriele de A Barreto, Thâmilla Batista, Bruna A S Machado, Janice I Druzian, Laiza C Krause, and Marcelo da C Mendonça. Physicochemical and sensory profile of beauregard sweet potato beer. *Food Chemistry*, 312:126087, 2020.
- [54] Aleksander Hejna. More than just a beer—the potential applications of by-products from beer manufacturing in polymer technology. *Emergent Materials*, 5(3):765–783, 2022.
- [55] The Brewers of Europe. European beer trends: Statistics report - 2020 edition. <https://brewersofeurope.org/uploads/mycms-files/documents/publications/2020/european-beer-trends-2020.pdf>, 2020.
- [56] Francylaine Silva de Almeida, Cinthia Aparecida de Andrade Silva, Sandro Marcio Lima, Yzel Rondon Suarez, and Luis Humberto da Cunha Andrade. Use of fourier transform infrared spectroscopy to monitor sugars in the beer mashing process. *Food chemistry*, 263:112–118, 2018.
- [57] Guillermo A Durand, Marcos L Corazza, Anibal M Blanco, and FC Corazza. Dynamic optimization of the mashing process. *Food Control*, 20(12):1127–1140, 2009.
- [58] Anna Dysvik, Kristian H Liland, Kristine S Myhrer, Bjørge Westereng, Elling-Olav Rukke, Gert De Rouck, and Trude Wicklund. Pre-fermentation with lactic acid bacteria in sour beer production. *Journal of the Institute of Brewing*, 125(3):342–356, 2019.
- [59] Carlo R Hinojosa-Avila, Ricardo García-Gamboa, Jorge JT Chedraui-Urrea, and Tomás García-Cayuela. Exploring the potential of probiotic-enriched beer: Microorganisms, fermentation strategies, sensory attributes, and health implications. *Food Research International*, 175:113717, 2024.

-
- [60] Alicia Muñoz-Insa, Martina Gastl, Martin Zarnkow, and Thomas Becker. Optimization of the malting process of oat (*avena sativa* L.) as a raw material for fermented beverages. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2):510–523, 2011.
- [61] Esther T Chawanda, Shepherd Manhokwe, Talknice Z Jombo, Desmond T Mugadza, Michael Njini, and Pepukai Manjeru. Optimisation of malting parameters for quinoa and barley: application of response surface methodology. *Journal of Food Quality*, 2022(1):5279177, 2022.
- [62] Tamirat Bejiga and Eresa W Dasa. Comprehensive review of the potential of sorghum in malt and beer production. *Journal of Advances in Food Science & Technology*, 11(2):10–21, 2024.
- [63] R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024.
- [64] Brenda Contreras-Jiménez, Alicia Del Real, Beatriz M Millan-Malo, Marcela Gaytán-Martínez, Eduardo Morales-Sánchez, and Mario E Rodríguez-García. Physicochemical changes in barley starch during malting. *Journal of the Institute of Brewing*, 125(1):10–17, 2019.
- [65] Russell V Lenth. Response-surface methods in r, using rsm. *Journal of statistical Software*, 32:1–17, 2010.
- [66] Odair Zenebon and Neus S Pascuet. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. Instituto Adolfo Lutz, 2005.
- [67] AOAC INTERNATIONAL. Protein in laboratory mait. Kjeldahl method - AOAC 950.09, 1950.
- [68] Iriani R Maldonade, Patricia G B De Carvalho, and Nathalie A Ferreira. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método de dns. *Comunicado Técnico - EMBRAPA*, 2013.
- [69] Ezequiel Hernández-Becerra, Brenda Contreras-Jiménez, Alma Vuelvas-Solorzano, Beatriz Millan-Malo, Carolina Muñoz-Torres, Miguel E Oseguera-Toledo, and Mario E Rodríguez-García. Physicochemical and morphological changes in corn grains and starch during the malting for palomero and puma varieties. *Cereal Chemistry*, 97(2):404–415, 2020.
- [70] AOAC INTERNATIONAL. Fat (crude) or ether extract in flour - AOAC 920.85, 1920.
- [71] Kevin J Shingfield, Christopher K Reynolds, Gonzalo Hervás, and Mikko J. Examination of the persistency of milk fatty acid composition responses to fish oil and sunflower oil in the diet of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89(2):714–732, 2006.

- [72] Junhan Liu, Bao Chu, Xiao Yang, and Yuhong Jin. Relationship between the index of protein modification (kolbach index) and degradation of macromolecules in wheat malt. *Journal of Food Science*, 86(6):2300–2311, 2021.
- [73] Juzhong Tan and Jie Xu. Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4:104–115, 2020.
- [74] Xingan Yang, Meng Li, Xiaohua Ji, Junqing Chang, Zanhong Deng, and Gang Meng. Recognition algorithms in e-nose: A review. *IEEE Sensors Journal*, 23(18):20460–20472, 2023.
- [75] Marek Gancarz, Urszula Malaga-Toboła, Anna Oniszczyk, Sylwester Tabor, Tomasz Oniszczyk, Marzena Gawrysiak-Witulska, and Robert Rusinek. Detection and measurement of aroma compounds with the electronic nose and a novel method for mos sensor signal analysis during the wheat bread making process. *Food and Bioproducts Processing*, 127:90–98, 2021.
- [76] Digambar Y Nadargi, Ahmad Umar, Jyoti D Nadargi, Smita A Lokare, Sheikh Akbar, Imtiaz S Mulla, Sharad S Suryavanshi, Nagesh L Bhandari, and Manohar G Chaskar. Gas sensors and factors influencing sensing mechanism with a special focus on mos sensors. *Journal of Materials Science*, 58(2):559–582, 2023.
- [77] Heena Rani and Rachana D Bhardwaj. Quality attributes for barley malt: “the backbone of beer”. *Journal of Food Science*, 86(8):3322–3340, 2021.
- [78] Antonio Calvi and Giovanni Preiti. Capitolo 3 preliminary characterization of the malting quality of malting barley and landraces of wheat and rye grown in a mediterranean environment (southern italy). *Optimization of the malting process of Calabrian cereal landraces through response surface methodology*, page 28.
- [79] Girma D Deme, Belete T Asfaw, and Meroda T Gari. Evaluation of malting potential of different barley varieties. *Journal of Water Pollution & Purification Research*, 6(3):24–35, 2020.
- [80] Xiunan Hu, Yuhong Jin, and Jinhua Du. Differences in protein content and foaming properties of cloudy beers based on wheat malt content. *Journal of the Institute of Brewing*, 125(2):235–241, 2019.
- [81] Diego Girón-Orozco, María D Mariezcurrena-Berasain, Dora L Pinzón-Martínez, Erick Heredia-Olea, and José F Ramírez-Dávila. Effect of curing temperature on triticale malt quality. *Journal of the American Society of Brewing chemiStS*, 81(1):88–98, 2023.
- [82] Y Jin, J Du, K Zhang, L Xie, and P Li. Relationship between kolbach index and other quality parameters of wheat malt. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(1):57–62, 2012.

- [83] Ignazio M Gugino. Analysis and characterization of sicilian old landraces of cereals to address at malting industry. 2025.
- [84] Rewat Lersrutaiyotin, Shoji Sigenaga, and Naoki Utsunomiya. Malting quality of hexaploid triticale in comparison with that of barley, wheat and rye. *japanese journal of Crop Science*, 60(2):291–297, 1991.
- [85] MS Khoneva, OV Rudenko, SV Usatikov, NA Bugayets, M Yu Tamova, MA Fedorova, and MP Mogilny. Optimizing technological process of hydroponic germination of wheat grain by graphic method. *Journal of pharmaceutical sciences and research*, 10(2):381–390, 2018.
- [86] Alicia Muñoz-Insa, Harald Selciano, Martin Zarnkow, Thomas Becker, and Martina Gastl. Malting process optimization of spelt (*triticum spelta* l.) for the brewing process. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1):99–109, 2013.
- [87] Justyna Belcar, Tomasz R Sekutowski, Miłosz Zardzewiały, and Józef Gorzelany. Effect of malting process duration on malting losses and quality of wheat malts. *Acta Universitatis Cinbinesis, Series E: Food Technology*, 25(2), 2021.
- [88] Cynthia Almaguer, Hubert Kollmannsberger, Martina Gastl, and Thomas Becker. Daily assessment of malting-induced changes in the volatile composition of barley (*hordeum vulgare* l.), rye (*secale cereale* l.), and quinoa (*chenopodium quinoa* wild.). *Journal of Food Science*, 88(9):3773–3785, 2023.
- [89] Awatif S Ali and Alaaeldin A Elozeiri. Metabolic processes during seed germination. *Advances in seed biology*, 2017:141–166, 2017.
- [90] Mehmet M Özcan, Fahad Aljuhaimi, and Nurhan Uslu. Effect of malt process steps on bioactive properties and fatty acid composition of barley, green malt and malt grains. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1):226–232, 2018.
- [91] Daniel Cozzolino, Sophie Roumeliotis, and Jason Eglinton. Relationships between fatty acid contents of barley grain, malt, and wort with malt quality measurements. *Cereal chemistry*, 92(1):93–97, 2015.
- [92] Florinda O Bobbio and Paulo A Bobbio. *Introdução à química de alimentos*. Varela, 1989.
- [93] CM Ramsay and David R Berry. Effect of temperature and ph on the formation of higher alcohols, fatty acids and esters in the malt whisky fermentation. *Food microbiology*, 1(2):117–121, 1984.
- [94] Ancuta Chetrariu, Vasile F Ursachi, and Adriana Dabija. Evaluation of the fatty acids and amino acids profiles in spent grain from brewing and malt whisky. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 23(2):167–177, 2022.

- [95] Maria S Chiş, Anamaria Pop, Adriana Păucean, Sonia A Socaci, Ersilia Alexa, Simona M Man, Monica Bota, and Sevastiţa Muste. Fatty acids, volatile and sensory profile of multigrain biscuits enriched with spent malt rootles. *Molecules*, 25(3):442, 2020.

Apêndice A

Metilação básica de ácidos gordos

A metodologia aqui apresentada foi adaptada da literatura [71].

- **Reagentes necessários:**

1. n-Hexano;
2. Solução de hidróxido de potássio metanólica 2M ($KOH - Met$);
3. Sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4).

- **Procedimento:**

1. Determine a massa de matéria gorda total no balão de fundo chato;
2. Adicione aproximadamente 2,0 mL de n-hexano a cada 0,1 g de gordura (20:1);
3. Adicione aproximadamente 0,2 mL de $KOH - Met$ a cada 0,1 g de gordura (2:1);
4. Agite mistura por ao menos 3 minutos em vortex;
5. Deixe a mistura repousar por ao menos 45 minutos;
6. Adicione duas espátulas de Na_2SO_4 e agitar vigorosamente;
7. Extraia fase líquida para seringa e filtro de nylon;
8. Transferira para vial devidamente identificado;
9. Vede o vial e armazenar em congelador até análise.

Apêndice B

Obtenção de extrato padrão (*congress wort*)

A metodologia aqui descrita foi obtida na literatura [66].

- **Materiais necessários:**

1. Bastão de vidro;
2. Béquer 600 mL;
3. Proveta 200 mL;
4. Funil;
5. Papel filtro;
6. Crivo de 121 furos/cm²;
7. Moinho;
8. Agitador magnético com manta de aquecimento.

- **Procedimento:**

1. Triture aproximadamente 55 g da amostra e crive-a;
2. Transfira-a para o béquer de massa conhecida;
3. Adicione 200 mL de água destilada a 46 °C e misture;
4. Com auxílio do agitador magnético, mantenha o mosto sob agitação por 30 min.;
5. Aqueça a mistura até 70 °C;
6. Adicione 100 mL água destilada a 70 °C e mantenha em agitação por 60 min.;
7. Deixe resfriar em temperatura ambiente;
8. Corrija a massa da mistura para 450g pela adição de água destilada;
9. Deixe em repouso por 10 min. e filtre;
10. Determine a umidade e densidade (20°C) do permeado.

Apêndice C

Resultados das repetições

O conteúdo aqui apresentado está agrupado por ensaio e etapa de investigação, conforme apresentado no Capítulo 2. Os dados apresentados no Capítulo 3 foram obtidos pela análise destes resultados.

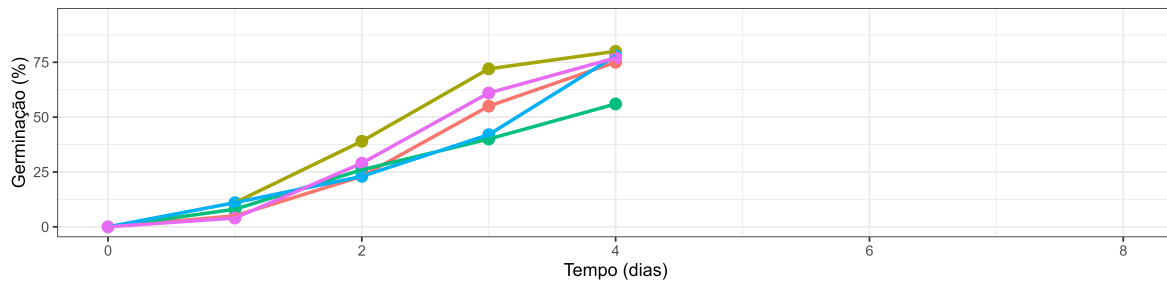
C.1 A influência do tratamento térmico e malha do crivo sobre o teor de açúcares redutores

Tabela C.1: Percentual médio de açúcar redutor em diferentes amostras do malte de trigo barbela.

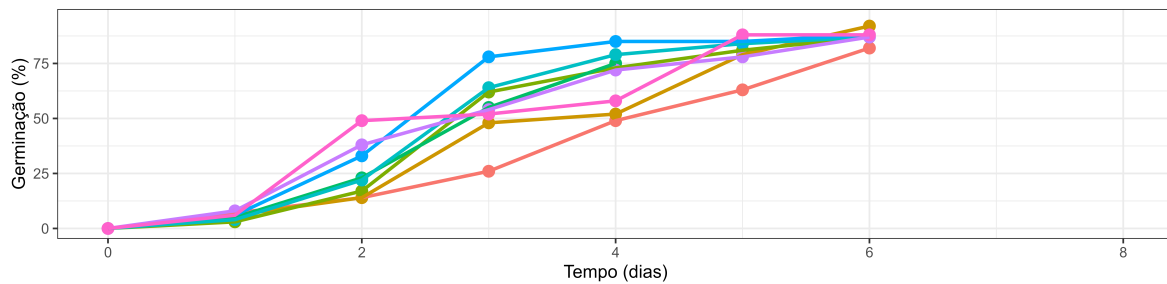
Amostra	Crivo		250 (%)	800 (%)
	Infusão			
TB01	F		0,375 ± 0,035	0,182 ± 0,004
	Q		1,673 ± 0,099	1,344 ± 0,098
TB02	F		0,176 ± 0,017	0,178 ± 0,002
	Q		0,930 ± 0,061	0,784 ± 0,051
TB03	F		0,092 ± 0,000	0,087 ± 0,011
	Q		0,333 ± 0,015	0,080 ± 0,004
TB04	F		0,367 ± 0,042	0,181 ± 0,004
	Q		1,660 ± 0,098	1,337 ± 0,097
TB05	F		0,117 ± 0,007	0,031 ± 0,004
	Q		0,334 ± 0,026	0,245 ± 0,014
TB06	F		0,094 ± 0,005	0,099 ± 0,033
	Q		0,119 ± 0,001	0,266 ± 0,001
TB07	F		0,647 ± 0,016	0,582 ± 0,050
	Q		1,078 ± 0,114	0,765 ± 0,026
TB08	F		0,043 ± 0,017	0,030 ± 0,012
	Q		0,201 ± 0,042	0,122 ± 0,009
TB09	F		0,146 ± 0,041	0,215 ± 0,088
	Q		0,281 ± 0,017	0,291 ± 0,003
TB10	F		0,037 ± 0,010	0,039 ± 0,001
	Q		0,236 ± 0,000	0,293 ± 0,009
TB11	F		1,141 ± 0,001	0,570 ± 0,016
	Q		1,550 ± 0,031	1,602 ± 0,101
TB12	F		0,036 ± 0,003	0,041 ± 0,010
	Q		0,255 ± 0,022	0,243 ± 0,009
TB13	F		0,123 ± 0,007	0,031 ± 0,004
	Q		0,349 ± 0,027	0,245 ± 0,014
TB14	F		0,038 ± 0,003	0,044 ± 0,004
	Q		1,598 ± 0,026	1,110 ± 0,051
TB15	F		0,079 ± 0,025	0,077 ± 0,020
	Q		1,786 ± 0,077	1,760 ± 0,125
TB16	F		0,221 ± 0,006	0,381 ± 0,021
	Q		1,353 ± 0,055	1,631 ± 0,001
TB17	F		0,669 ± 0,022	0,060 ± 0,003
	Q		1,578 ± 0,039	1,100 ± 0,024
TB18	F		0,188 ± 0,030	0,150 ± 0,025
	Q		0,849 ± 0,067	1,545 ± 0,090

Infusão: F - 10% em água fria; Q - 10% em mosturação padrão.
Crivo: Diferentes tamanhos de crivo adotados, em μm .

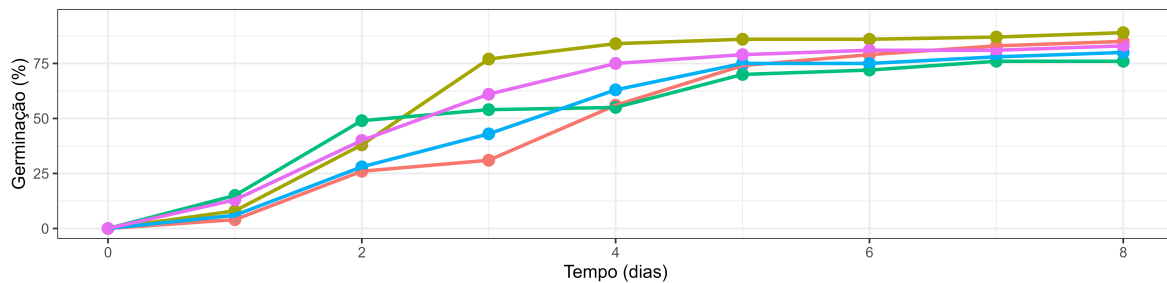
C.2 Otimização da malteação do trigo barbela



(a) 4 dias



(b) 6 dias



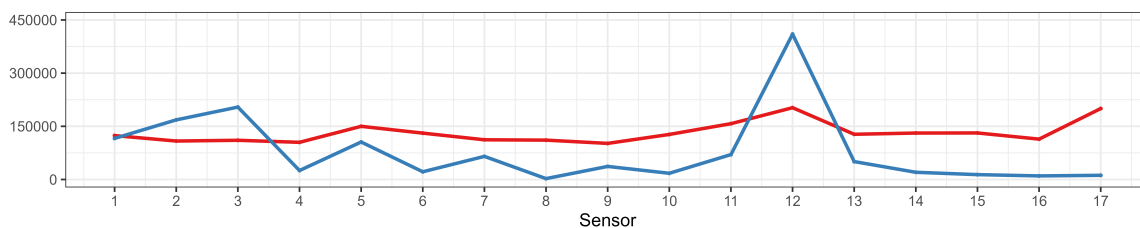
(c) 8 dias

Figura C.1: Percentual de grãos germinados nos diferentes ensaios.

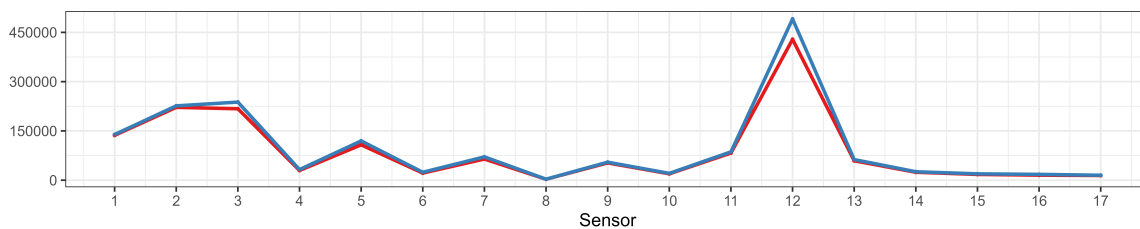
Tabela C.2: Resultados da análise de superfície para as diferentes variáveis respostas

Proteína no mosto					
	GL	SQ	QM	<i>f - valor</i>	<i>p - valor</i>
FO	3	< 0,0001	< 0,0001	0,1012	0,9571
TWI	3	< 0,0001	< 0,0001	0,7317	0,5616
PQ	3	< 0,0001	< 0,0001	0,7285	0,5632
Resíduos	8	< 0,0001	< 0,0001		
Índice Kolbach					
	GL	SQ	QM	<i>f - valor</i>	<i>p - valor</i>
FO	3	0,0003	< 0,0001	0,2801	0,8384
TWI	3	0,0017	0,0006	1,8510	0,2162
PQ	3	0,0005	0,0002	0,5876	0,6400
Resíduos	8	0,0025	0,0003		
Extrato					
	GL	SQ	QM	<i>f - valor</i>	<i>p - valor</i>
FO	3	0,0060	0,0020	2,5973	0,1247
TWI	3	0,0052	0,0017	2,2621	0,1584
PQ	3	0,0055	0,0018	2,3892	0,1444
Resíduos	8	0,0062	0,0008		
Açúcar redutor no malte					
	GL	SQ	QM	<i>f - valor</i>	<i>p - valor</i>
FO	3	< 0,0001	< 0,0001	1,4116	0,3088
TWI	3	< 0,0001	< 0,0001	3,7839	0,0587
PQ	3	< 0,0001	< 0,0001	1,6609	0,2515
Resíduos	8	< 0,0001	< 0,0001		
Açúcar redutor no mosto					
	GL	SQ	QM	<i>f - valor</i>	<i>p - valor</i>
FO	3	0,0002	< 0,0001	3,1480	0,0865
TWI	3	< 0,0001	< 0,0001	0,9498	0,4613
PQ	3	0,0002	< 0,0001	2,1669	0,1699
Resíduos	8	0,0002	< 0,0001		

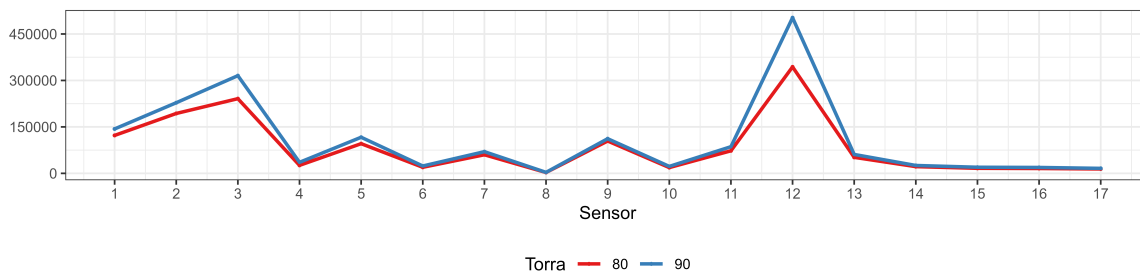
C.3 *e-nose*



(a) Inteiro

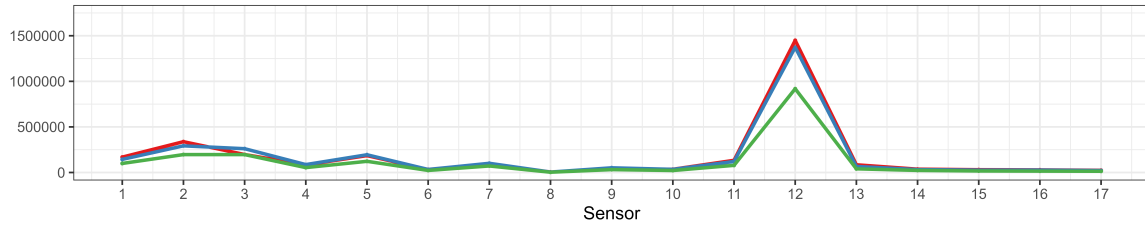


(b) Triturado seco

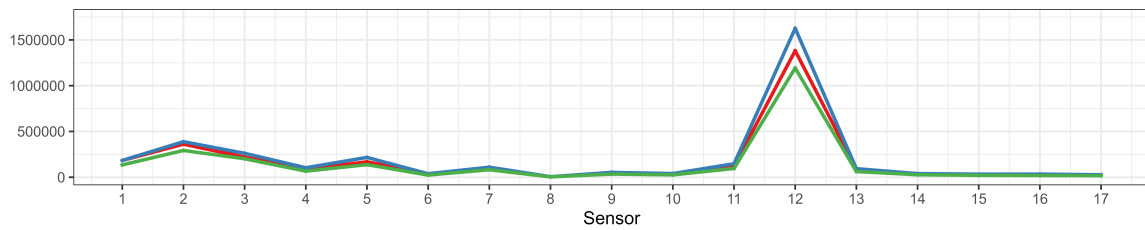


(c) Triturado úmido

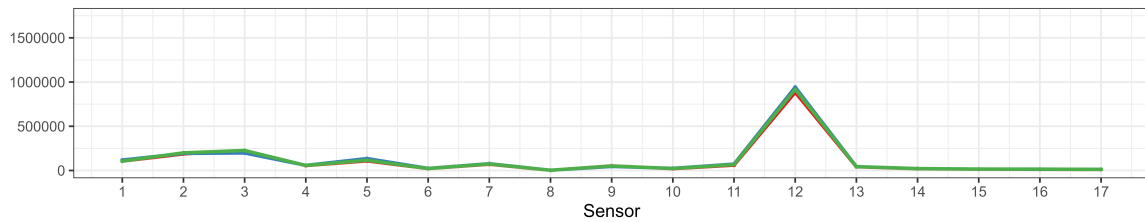
Figura C.2: Valores reais registrados pelo *e-nose* durante análise de malte de centeio ibérico com diferentes torras.



(a) Inteiro



(b) Triturado seco



Torra — 60 — 120 — 180

(c) Triturado úmido

Figura C.3: Valores reais registrados pelo *e-nose* durante análise de malte de cevada rabuda com diferentes torras.

Tabela C.3: Resistividade registrada pelo *e-nose* para diferentes tratamentos de centeio ibérico.

Tratamento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
I	80	113.860	158.544	180.513	22.252	95.228	20.025	59.376	2.414	32.554	16.515	65.757	364.027	47.326	19.512	13.097	9.587	10.977
	90	115.981	168.186	204.213	25.333	105.721	21.777	65.195	2.502	36.849	17.538	70.217	410.018	50.532	20.353	13.732	10.133	11.787
TS	80	136.583	221.693	217.399	29.612	107.596	21.600	64.390	2.857	52.567	19.316	82.638	428.795	59.142	24.060	17.488	15.255	14.155
	90	139.014	226.307	237.754	32.241	119.585	24.134	70.903	3.133	54.812	20.775	86.158	490.680	62.720	25.735	19.312	17.682	15.042
TU	80	122.561	193.370	241.130	25.908	95.812	19.626	60.023	2.796	104.427	18.708	72.788	343.748	51.716	21.715	16.308	15.657	14.127
	90	143.427	228.052	315.419	35.629	116.554	23.783	70.012	3.267	111.861	22.457	86.064	502.525	61.076	25.497	19.758	19.077	16.158

Tabela C.4: Resistividade registrada pelo *e-nose* para diferentes tratamentos de cevada rabuda.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
I	60	168.645	337.832	197.373	83.383	185.199	33.697	97.901	5.413	43.159	35.480	133.503	1.448.833	84.629	36.594	30575	28.863	24.233
	120	143.915	292.398	261.021	86.752	194.506	33.126	100.857	4.663	51.458	34.381	120.771	1.373.494	66.246	31.723	25.959	26.447	21.514
	180	99.290	196.401	196.407	53.727	122.569	22.755	71.467	2.962	31.868	21.796	78.260	918.444	40.094	22.863	16.583	14.947	13.636
TS	60	183.220	361.541	219.416	82.294	168.565	30.639	96.396	4.708	53.070	32.671	120.659	1.382.146	88.806	34.029	27.616	26.696	22.024
	120	183.609	387.994	261.559	103.510	216.642	38.034	109.942	5.916	52.821	40.240	147.167	1.626.168	93.643	39.596	33.531	34.243	26.916
	180	134.912	292.474	201.857	66.768	137.469	23.934	81.951	3.666	34.602	25.862	95.707	1.192.832	61.986	27.292	20.833	19.284	17.023
TU	60	105.986	187.799	225.688	55.695	108.840	21.665	71.156	2.730	52.155	20.822	60.573	884.964	42.066	20.234	14.935	13.453	11.758
	120	117.897	193.236	198.200	58.085	134.617	23.789	76.855	2.992	45.711	24.669	72.026	941.524	44.010	21.616	15.958	13.950	13.259
	180	106.160	199.619	226.484	57.218	115.731	22.117	74.100	2.886	50.982	22.399	66.555	918.149	43.264	21.204	16.072	15.538	12.820