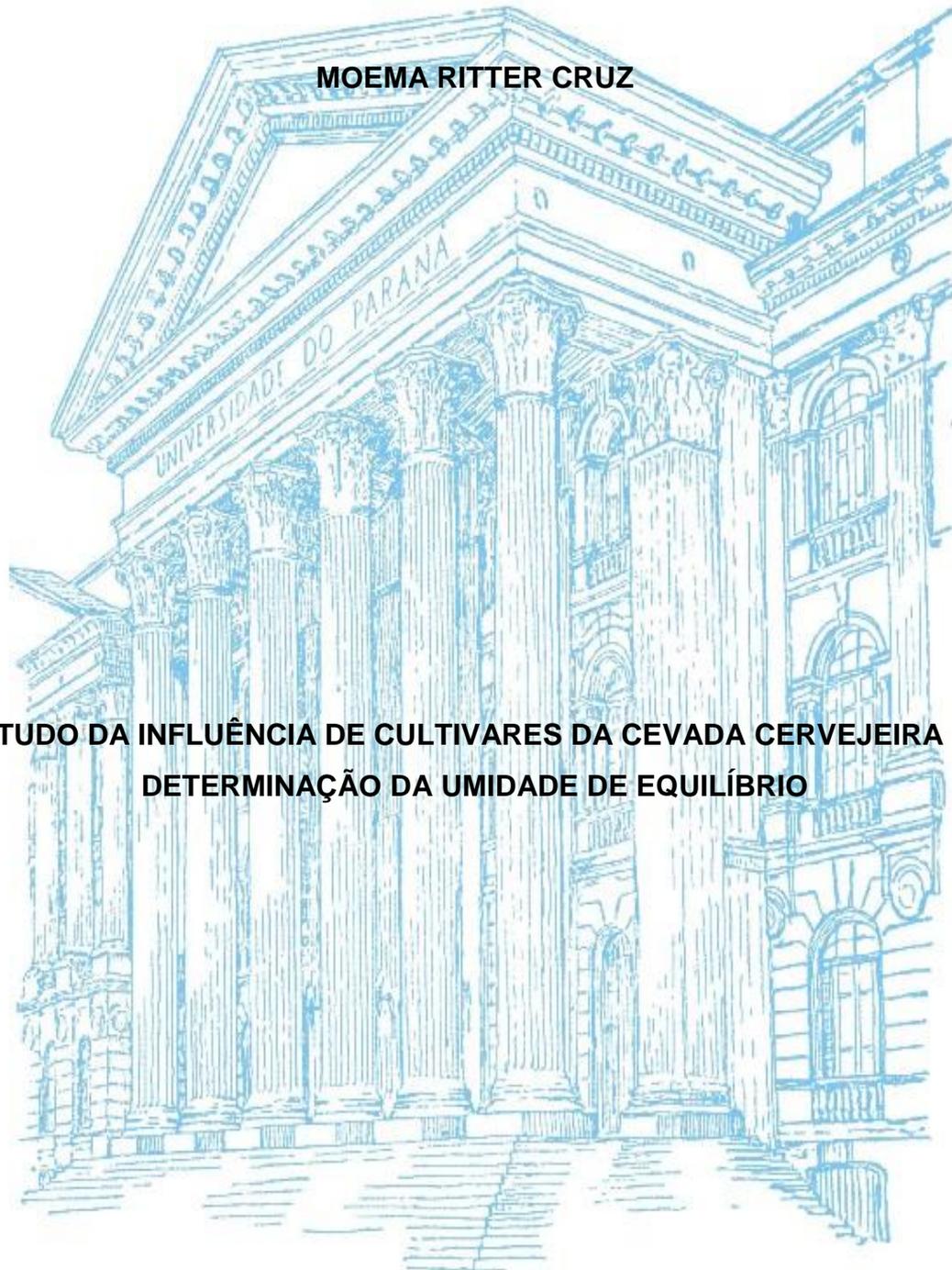


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MOEMA RITTER CRUZ



**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE CULTIVARES DA CEVADA CERVEJEIRA NA
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO**

CURITIBA

2015

MOEMA RITTER CRUZ

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE CULTIVARES DA CEVADA CERVEJEIRA NA
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Pós-Graduação em Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof.^a. Agnes de Paula Scheer

CURITIBA

2015

C957e

Cruz, Moema Ritter

Estudo da influência de cultivares da cevada cervejeira na determinação da umidade de equilíbrio / Moema Ritter Cruz. – Curitiba, 2015.
91 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2015.

Orientador: Agnes de Paula Scheer .

Bibliografia: p. 74-83.

1. Cevada – Cultivo. 2. Cevada – Umidade de equilíbrio. 3. Hordeum
vulgare. I. Universidade Federal do Paraná. II. Scheer, Agnes de Paula. III.
Título.

CDD: 633.16



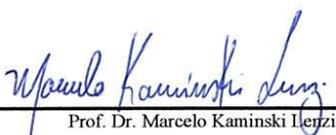
Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Setor de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

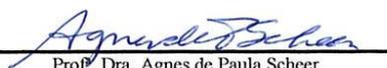


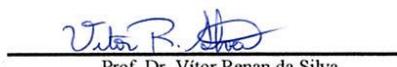
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

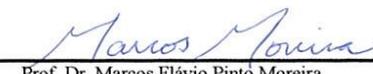
Aos sete dias do mês de agosto de 2015, no Auditório Inferior do Prédio da Engenharia Química no Centro Politécnico – UFPR foi instalada pelo Dr. Marcelo Kaminski Lenzi, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, a Banca Examinadora para a **septuagésima sétima** defesa de dissertação de mestrado na área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos. Estiveram presentes no ato, professores, alunos e visitantes. A Banca Examinadora, atendendo à determinação do colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, foi constituída pelos professores doutores: Agnes de Paula Scheer (PPGEQ/UFPR), Marcelo Kaminski Lenzi (PPGEQ/UFPR), Vítor Renan da Silva (PPGEAL/UFPR) e Marcos Flávio Pinto Moreira (UNIOESTE). Às 14h00min, a banca iniciou os trabalhos, convidando a candidata **Moema Ritter Cruz** a fazer a apresentação da dissertação de mestrado intitulada “*Estudo da influência de cultivares da cevada cervejeira na determinação da unidade de equilíbrio*”. Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes. Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela APPROVAÇÃO da candidata, (de acordo com a determinação dos artigos 68º e 69º da Resolução 65/09 – CEPE/UFPR de 30.10.2009).

Curitiba, 07 de agosto de 2015.


Prof. Dr. Marcelo Kaminski Lenzi
(PPGEQ/UFPR) – Coordenador


Prof. Dra. Agnes de Paula Scheer
(PPGEQ/UFPR) – Orientadora


Prof. Dr. Vítor Renan da Silva
(PPGEAL/UFPR) – Membro Titular Externo


Prof. Dr. Marcos Flávio Pinto Moreira
(UNIOESTE) – Membro Titular Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado dificuldades e problemas para resolver, para me tornar mais forte a cada dia.

À Universidade Federal do Paraná por proporcionar-me a obtenção do título de mestre. Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química.

À querida Professora Agnes de Paula Scheer pelas várias noites e tardes de orientação. Mesmo longe, sei que podia contar contigo.

À Luana Züge, pela grande ajuda com o trabalho.

Ao Professor Marcelo Kamiski Lenzi pelas sugestões de melhorias ao trabalho no exame de qualificação.

Aos membros da banca examinadora.

À CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

À Cooperativa Agrária Agroindustrial por fornecer gentilmente as amostras de cevada, bem como disponibilizar o laboratório central para realizar os experimentos. Em especial, aos colegas Lauri Cezar de Souza Júnior e Marcia Helena Mota de Arruda.

Aos técnicos do Centro de Microscopia Eletrônica Luiz, Deonir e Rosângela, pela ajuda com as análises de MEV.

A minha família, que me acompanhou por toda a minha trajetória e me viu chegar até aqui.

As minhas eternas melhores amigas, Chirley Kaul, Érica Kaefer e Michelly Michels. Obrigada por poder contar com vocês sempre.

Em especial, agradeço ao Cauê Cainã Mohler dos Santos, por dividir comigo as horas boas e as horas ruins, por acreditar em mim quando nem mesmo eu acreditava. Obrigada por ser meu companheiro, meu amigo, meu amor.

“There is nothing noble in being superior to your fellow man; true nobility is being superior to your former self”.

Ernest Hemingway

RESUMO

Tendo em vista a necessidade de conhecimento das condições de equilíbrio para os processos de secagem e armazenagem de grãos, foram conduzidos ensaios experimentais para determinação da umidade de equilíbrio da cevada, buscando compreender a influência do cultivar deste grão. Os experimentos foram conduzidos através do método estático com uso de soluções salinas saturadas, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C para os cultivares BRS Cauê e BRS Elis, nas condições de adsorção e dessorção. Foi evidenciado que o cultivar BRS Elis apresentou uma umidade de equilíbrio superior ao cultivar BRS Cauê, em todas as condições estudadas. Foram estudados modelos disponíveis na literatura de isotermas de equilíbrio para ajuste dos dados experimentais, em toda a faixa de umidade relativa analisada. O modelo Chung e Pfof foi o que melhor descreveu os dados experimentais, apresentando erros padrões menores que 0,001 em todas as condições, faixa de erro percentual de 0,431 a 2,692 e soma dos quadrados dos resíduos de 0,565 a 3,388. Os modelos GAB e Oswin também apresentaram bons ajustes dos dados experimentais. A partir dos modelos, foram obtidas as condições da umidade relativa do ambiente necessárias para garantir a umidade de 12% (b.s.) máxima durante a armazenagem dos cultivares BRS Cauê e BRS Elis para uma mesma temperatura. Verificou-se que estes valores são muito diferentes, sendo que o cultivar BRS Elis necessita de uma umidade relativa ambiente menor do que o cultivar BRS Cauê, o que pode acarretar na necessidade de processos de aeração para garantir condições mais baixas de umidade relativa. Foi também estudada a secagem industrial em um secador modelo ADS. Constatou-se que o cultivar BRS Elis demanda mais energia de secagem para garantir uma condição de saída similar ao cultivar BRS Cauê.

Palavras-chave: Umidade de equilíbrio, Modelos de Isotermas e *Hordeum vulgare*.

ABSTRACT

Being aware of the necessity for knowledge of the equilibrium conditions for drying and storage processes of grain, it was conducted experimental tests for barley equilibrium moisture content, in order to understand the influence of the cultivar of this grain. The experiments were conducted using the static method, with saturated salt solutions at temperatures of 40, 50 and 60 °C for cultivars BRS Cauê and BRS Elis, on the conditions of adsorption and desorption. It was shown that the cultivar BRS Elis presented higher equilibrium moisture content than cultivar BRS Cauê, in all conditions studied. It was studied models of equilibrium isotherms available in the literature to fit the experimental data, throughout the relative humidity range analyzed. The Chung and Pfof model was the best in describing the experimental data, showing standard error less than 0.001 in all conditions, percentage error's range varied from 0.431 to 2.692 and the sum of squared residuals' range varied from 0.565 to 3.388. The GAB and Oswin models also showed good fits for the experimental data. From the models, it was obtained the conditions of the relative humidity necessary to ensure maximum humidity of 12% (d.b.) for the storage of cultivars BRS Cauê and BRS Elis for the same temperature. It was found that these values are very different for the cultivars. Cultivar BRS Elis requires a lower relative humidity than the cultivar BRS Cauê, which may result in need of aeration processes to ensure lower relative humidity conditions. It was also studied industrial drying on a ADS dryer model. It was found that the cultivar BRS Elis demands more energy during drying, to ensure a similar condition to cultivar BRS Cauê.

Keywords: Equilibrium Moisture Content, Isotherms Models and *Hordeum vulgare*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Zoneamento Agrícola de Risco Climático para cevada cervejeira no Paraná.....	8
Figura 2.2 Arranjo geral de grãos em cevadas vistos de baixo. Os grãos mostrados em mais detalhes surgem de um nó, os grãos mostrados com contorno surgem em um nó acima. (a) Cevada de Duas Fileiras. (b) Cevada de Seis Fileiras. (c) Cevada de Seis Fileiras “frouxa”, também chamada de Cevada de “Quatro” Fileiras.....	11
Figura 2.3 Corte longitudinal do grão de cevada: (1) Embrião, (2) Acrospira rudimentar, (3) Radícula rudimentar, (4) Escutelo, (5) Epitélio, (6) Endosperma, (7) Células vazias, (8) Camada de aleurona, (9) Testa, (10) Pericarpo e (11) Cascas.	13
Figura 2.4 Diagrama da seção transversal, através da parte mais ampla do grão de cevada.....	13
Figura 2.5 Isoterma característica de alimentos.	24
Figura 2.6 Tipos de Isoterma de Sorção.....	25
Figura 2.7 Zonas Características de Isotermas de Sorção em um Alimento.	27
Figura 3.1 Recipiente onde os grãos ficavam em contato com a umidade relativa desejada.....	39
Figura 3.2 Amostras Recobertas por uma Camada de Ouro.....	42
Figura 4.1 Valores das umidades de equilíbrio em função da temperatura para a Cevada Cauê.....	47
Figura 4.2 Valores das umidades de equilíbrio em função da temperatura para a Cevada Elis	48
Figura 4.3 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Cauê para a condição de adsorção.....	49
Figura 4.4 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Cauê para a condição de dessorção.....	50
Figura 4.5 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Elis para a condição de adsorção.....	50
Figura 4.6 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Elis para a condição de dessorção.....	51
Figura 4.7 Imagens da parte externa do cultivar BRS Elis antes da secagem fornecidas pelo MEV com aumento de (a) 36 vezes; (b) 100 vezes; (c) 500 vezes; (d) 5000 vezes	54
Figura 4.8 Imagens da parte externa do cultivar BRS Elis depois da secagem fornecidas pelo MEV com aumento de (a) 36 vezes; (b) 100 vezes; (c) 500 vezes; (d) 5000 vezes	55
Figura 4.9 Imagens da parte externa do cultivar BRS Cauê antes da secagem fornecidas pelo MEV com aumento de (a) 36 vezes; (b) 100 vezes; (c) 500 vezes; (d) 5000 vezes	56
Figura 4.10 Imagens da parte externa do cultivar BRS Cauê depois da secagem fornecidas pelo MEV com aumento de (a) 36 vezes; (b) 100 vezes; (c) 500 vezes; (d) 5000 vezes	57

Figura 4.11 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Cauê para as condições de adsorção e dessorção, nas temperaturas de estudo.....	58
Figura 4.12 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Elis para as condições de adsorção e dessorção, nas temperaturas de estudo.....	59
Figura 4.13 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Cauê na temperatura de 40 °C para a condição de Adsorção	64
Figura 4.14 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Cauê na temperatura de 50 °C para a condição de Adsorção	65
Figura 4.15 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Cauê na temperatura de 60 °C para a condição de Adsorção	66
Figura 4.16 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Elis na temperatura de 40 °C para a condição de Adsorção	67
Figura 4.17 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Elis na temperatura de 50 °C para a condição de Adsorção	68
Figura 4.18 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Elis na temperatura de 60 °C para a condição de Adsorção	69
Figura B.1 Ajustes dos Modelos para o cultivar Cauê na temperatura de 40°C para a condição de Dessorção	86
Figura B.2 Ajustes dos Modelos para o cultivar Elis na temperatura de 40°C para a condição de Dessorção	87
Figura B.3 Ajustes dos Modelos para o cultivar Cauê na temperatura de 50°C para a condição de Dessorção	88
Figura B.4 Ajustes dos Modelos para o cultivar Elis na temperatura de 50°C para a condição de Dessorção	89
Figura B.5 Ajustes dos Modelos para o cultivar Cauê na temperatura de 60°C para a condição de Dessorção	90
Figura B.6 Ajustes dos Modelos para o cultivar Elis na temperatura de 60°C para a condição de Dessorção	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Composição Química da Cevada (b.s.)	16
Tabela 2.2 Referências de Isotermas de Sorção.....	30
Tabela 3.1 Informações Quanto ao Fabricante e à Pureza dos Sais Utilizados no Experimento	38
Tabela 3.2 Umidade relativa proporcionada pelas soluções salinas saturadas, conforme temperaturas.	38
Tabela 4.1 Classificação das Amostras de Cevadas BRS Cauê e BRS Elis Quanto às Porcentagens Retidas no Peneiramento.	43
Tabela 4.2 Resultados das Análises de Umidade e Proteína.....	43
Tabela 4.3 Resultados das Análises de Poder Germinativo, Sensibilidade à Água e <i>Falling Number</i>	44
Tabela 4.4 Umidade de Equilíbrio das Cevadas BRS Cauê e BRS Elis, para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C, para as seis soluções salinas (% - b.s.).....	45
Tabela 4.5 Valor p entre cultivares (Teste t).....	52
Tabela 4.6 Valor p entre condições de adsorção e dessorção (Teste t).....	60
Tabela 4.7 Valores dos parâmetros dos modelos, dos coeficientes de determinação (R^2), da soma dos quadrados dos resíduos (SSR), o erro percentual (P) e erro padrão (SE) para a condição de adsorção para os cultivares de BRS Cauê e BRS Elis, para as temperaturas estudadas.....	62
Tabela 4.8 Condições de umidade relativa do ambiente e temperatura para garantir a condição de 12% (b.s.) de umidade da cevada para armazenagem.....	70
Tabela A.1 Valores dos parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), da soma dos quadrados dos resíduos (SSR), o erro percentual (P) e erro padrão (SE) dos modelos para as temperaturas de 40, 50 e 60°C para o cultivar Cauê na condição de Dessorção.	84
Tabela A.2 Valores dos parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), da soma dos quadrados dos resíduos (SSR), o erro percentual (P) e erro padrão (SE) dos modelos para as temperaturas de 40, 50 e 60°C para o cultivar Elis na condição de Dessorção.	85

LISTA DE SIGLAS

AACC	American Association of Cereal Chemists
AmBev	Companhia de Bebidas das Américas
b.s.	Base seca
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
SNPC	Serviço Nacional de Proteção de Cultivares

LISTA DE SÍMBOLOS

α_w	Atividade de água (kg/kg)
A	Constante da Equação de Chung e Pfof - Equação 2.3
A	Constante da Equação de Halsey - Equação 2.5
A	Constante da Equação de Henderson - Equação 2.6
A	Constante da Equação de Oswin – Equação 2.7
B	Constante da Equação de Chung e Pfof - Equação 2.3
B	Constante da Equação de Halsey - Equação 2.5
B	Constante da Equação de Henderson - Equação 2.6
B	Constante da Equação de Oswin - Equação 2.7
c_B	Constante de energia da Equação BET - Equação 2.2
c_G	Constante de Guggenheim da Equação GAB - Equação 2.4
k	Fator de correlação do calor de sorção de multicamada da Equação GAB - Equação 2.4
m_e	Massa da amostra no equilíbrio (kg) – Equação 2.1
m_f	Massa seca da amostra (kg) – Equação 2.1
N	Número de dados experimentais – Equações 3.2 e 3.3
p	Número de constantes no modelo – Equação 3.3
$P(\%)$	Erro percentual – Equação 3.2
SE	Erro padrão – Equação 3.3
SSR	Soma dos quadrados dos resíduos – Equação 3.1
T	Temperatura (°C)
x_{mG}	Teor de umidade de monocamada da Equação GAB - Equação 2.4
x_{mB}	Teor de umidade de monocamada da Equação BET - Equação 2.2
X_e	Umidade de equilíbrio (kg/kg)
$X_{e_{obs}}$	Umidade de equilíbrio observado experimentalmente (kg/kg)
$X_{e_{pred}}$	Umidade de equilíbrio predito pelo modelo (kg/kg)
UR	Umidade relativa (kg/kg)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE SIGLAS	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XII
1. INTRODUÇÃO	3
1.1. OBJETIVOS GERAIS	4
1.1.1. Objetivos Específicos	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. A CEVADA, INDÚSTRIA CERVEJEIRA E MALTEAÇÃO.	5
2.2. PRODUÇÃO DE CEVADA	7
2.3. CULTIVARES DE CEVADA CERVEJEIRA INDICADOS PARA O CULTIVO NO PARANÁ.....	8
2.4. CARACTERIZAÇÃO DO GRÃO DE CEVADA	9
2.4.1. Classificações da cevada	10
2.4.2. Morfologia do Grão de Cevada.....	12
2.4.3. Composição Química da Cevada	15
2.5. SECAGEM E ARMAZENAMENTO DA CEVADA	20
2.6. UMIDADE DE EQUILÍBRIO.....	22
2.7. ISOTERMAS DE SORÇÃO	23
2.8. MODELOS DE ISOTERMAS DE SORÇÃO	28
2.8.1. Modelos de Adsorção Molecular.....	31
2.8.2. Modelos Empíricos e Teóricos de Isotermas de Sorção.....	32
2.8.3. Referências de Trabalhos de Cevada	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. AMOSTRA DE CEVADA	36
3.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	36
3.3 ANÁLISES FISIOLÓGICAS.....	36
3.4. ANÁLISE DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO.....	37
3.4.1. Disposição do Experimento	37

3.4.2. Sais.....	38
3.4.3. Preparação das Soluções Salinas.....	38
3.4.4. Aparato Experimental.....	39
3.4.5. Adsorção.....	39
3.4.6. Dessorção.....	40
3.4.7. Software para Análise dos Dados de Umidade de Equilíbrio.....	40
3.5. ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	43
4.2. ANÁLISES FISIOLÓGICAS.....	44
4.3. ANÁLISE DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO.....	45
4.3.1. Teste de Hipótese: Influência do Cultivar (BRS Elis versus BRS Cauê).....	51
4.4. ANÁLISE DO FENÔMENO DE HISTERESE.....	58
4.4.1. Teste de Hipótese: Influência da Condição de Adsorção x Dessorção.....	59
4.5. ANÁLISE DOS MODELOS DE ISOTERMAS.....	60
5. CONCLUSÕES.....	72
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
6. REFERÊNCIAS.....	74
APÊNCIDE A.....	84
APÊNDICE B.....	86

1. INTRODUÇÃO

A cevada é uma gramínea originária do oriente, é um cereal que apresenta coloração amarelada, contendo elevado teor de açúcar e baixa concentração de proteína, sendo que essas duas características o classificam como um cereal adequado para a fabricação de cerveja (EVANGELISTA, 2012). Com o avanço tecnológico, são muitos os cultivares disponíveis para o cultivo na atualidade e a escolha do cultivar de cevada mais competitiva na região de interesse é fator decisivo para uma boa produtividade na lavoura. De acordo com a Embrapa Trigo (2013), os cultivares registrados e adequados para o cultivo de cevada cervejeira em 2013/2014 para o Estado do Paraná são BRS Cauê e BRS Elis.

A cevada advinda do campo passa por processos de beneficiamento para que seja preparada para um período de armazenamento, para somente então ser utilizada para fins industriais. Além de garantir matéria-prima para períodos de entressafra, a armazenagem também tem por objetivo a quebra da dormência da cevada recém-colhida e a manutenção de seu poder germinativo até que chegue a etapa de industrialização.

Muitas vezes a secagem é necessária, pois a cevada oriunda do campo apresenta teores de umidade acima do adequado para seu armazenamento e processamento. A etapa de secagem destaca-se como de fundamental importância, pois além dos elevados custos energéticos envolvidos com a operacionalização deste processo, parâmetros ótimos devem ser adotados para que a secagem não afete a qualidade ou poder de germinação, e previna a proliferação de pragas e micro-organismos indesejados, que também irão impactar na qualidade final do produto. Tanto para a secagem quanto para a armazenagem de grãos é de fundamental importância o conhecimento do valor da umidade de equilíbrio, parâmetro que corresponde ao menor valor de umidade possível de ser atingido em uma determinada temperatura e umidade relativa do ar ambiente. Dada à dinâmica dos processos de secagem e armazenagem, é importante não somente conhecer o equilíbrio obtido em uma única condição de umidade ambiente, mas sim, como esta umidade de equilíbrio se comporta em diferentes condições ambientais, o que nos leva a necessidade do estudo de isotermas de sorção.

Em suma, o estudo da sorção pelos cultivares de cevada justifica-se porque a umidade de equilíbrio influencia os aspectos econômicos de comercialização, o

fornecimento de matéria-prima em períodos de entressafra, a quebra da dormência, a taxa de respiração durante o armazenamento, a economia de energia, a minimização de perdas e a manutenção da qualidade para posterior etapa de malteação.

1.1. OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho teve por objetivo a determinação da umidade de equilíbrio dos cultivares de cevada BRS Elis e BRS Cauê, em diferentes temperaturas, empregando-se o método estático e soluções salinas para a simulação de umidades ambientes.

1.1.1. Objetivos Específicos

- Realizar análises físico-químicas e fisiológicas, para caracterizar as amostras de cevada, identificando diferenças entre os cultivares estudados;
- Estudar a variação da estrutura morfológica do grão antes e depois do processo de secagem;
- Determinar as isotermas de adsorção e dessorção para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C;
- Estudar a influência do cultivar de cevada nas condições de equilíbrio;
- Explorar, selecionar, ajustar e generalizar modelos matemáticos aos dados experimentais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O propósito deste capítulo é fornecer conceitos importantes de recepção, armazenagem e secagem de grãos, além de dados de produção de cevada no Brasil e no mundo, informações sobre cultivares das safras de 2013/2014 e suas principais características.

2.1. A CEVADA, INDÚSTRIA CERVEJEIRA E MALTEAÇÃO.

A cevada (*Hordeum vulgare sp. vulgare*) é um cereal de inverno que ocupa a quinta posição, em ordem de importância econômica, no mundo. Pode-se fazer utilização deste grão a mais diversa possível: industrialização de bebidas (cerveja e destilados), composição de farinhas ou flocos para panificação, produção de medicamentos, formulação de produtos dietéticos e de sucedâneos de café, alimentação animal como forragem verde, fabricação de ração, entre outros. No entanto, no Brasil, a malteação é o principal uso econômico da cevada, já que o país produz apenas 30% da demanda da indústria cervejeira (EMBRAPA TRIGO, 2012).

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores mundiais de grãos, com uma produção de 192,8 milhões de toneladas de cereais, leguminosas e oleaginosas em 2014 (Brasil 247, 2015). Este crescimento da produção agrícola brasileira está relacionado com os investimentos realizados na pesquisa e tecnologia de produção agrícola, permitindo maior qualidade e produtividade por hectare. O avanço tecnológico permite também excelentes rendimentos tanto na safra de verão quanto na safra de inverno, mas o cultivo em regiões com diferenças térmicas acentuadas, entre estas duas estações, deve optar por culturas de cereais mais adaptados a estas condições climáticas (JÚNIOR e NOGUEIRA, 2007).

A cevada foi uma das primeiras espécies cultivadas pelo homem para sua alimentação. Por sua ampla adaptabilidade ecológica e por ser a principal matéria-prima da indústria cervejeira, a cevada destaca-se entre as gramíneas mais produzidas ao longo do tempo (EMBRAPA TRIGO, 2012). A produção brasileira de cevada concentra-se na Região Sul do país, principalmente nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, com uma área aproximada de cultivo de 92 mil hectares

(CONAB, 2014). Devido à amplitude térmica entre as estações ser mais destacada, cultiva-se também trigo e a aveia na Região Sul do Brasil (MANZATTO et al., 2002).

O principal foco para a utilização da cevada é para a produção de malte, visto que o país produz apenas 30% da demanda de cevada da indústria cervejeira nacional (EMBRAPA TRIGO, 2012). O malte é a principal matéria-prima para a produção da cerveja e, embora muitos grãos possam ser maltados, inclusive trigo e centeio. Em países onde não se consegue cultivar a cevada com sucesso, grãos como sorgo podem constituir o grão base, mas a cerveja produzida é geralmente inferior ou certamente irá apresentar um sabor muito diferente (GROSSMAN, 2013).

A malteação é um processo de germinação de cereais realizada de forma controlada e em instalações apropriadas, para que sejam possíveis transformações no corpo farinhoso da cevada. O processo de germinação é iniciado por uma etapa de absorção de água pelo grão, onde a cevada é imersa em água e passa por períodos de aeração até que a umidade do grão atinja um patamar entre 42% e 48%, esta etapa é conhecida como maceração. Watson (1998) afirmou que o cultivar da cevada é um dos fatores críticos influentes na absorção de água durante a maceração, ou seja, as diferenças entre espécies de cevada podem impactar nos processos de absorção e dessorção de água.

Após a maceração, a cevada umidificada é transferida para caixas de germinação, onde o sistema enzimático do grão é ativado e age sobre a reserva de amido para fornecer carbono e energia para o desenvolvimento do embrião, o primeiro sinal da germinação é a formação da radícula e o crescimento da acospira do grão (SILVA et al., 2008). Uma boa etapa de germinação só possível se controlados os seguintes parâmetros: umidade, temperatura, relação O₂/CO₂, tempo e adição de substâncias ativadoras e retardadoras (NOHEL, 2012).

Quando o nível de germinação desejado é atingido, o processo germinativo deve ser cessado o que é feito através de um processo de secagem, denominado *kilning*, no qual o malte verde é submetido ao escoamento forçado de ar quente (PORTO, 2011). As hidrolases produzidas durante a maltagem são parcialmente inativadas durante este processo e, após o *kilning*, o malte torna-se estável para o armazenamento adquirindo também uma textura friável adequada para a etapa de moagem que precederá a produção de cerveja (SILVA et al., 2008).

Em resumo, durante a malteação da cevada, tem-se uma fase biológica e uma fase química. Na fase química, a respiração e o crescimento dos órgãos não

são essenciais, mas sim, é importante a ação enzimática, que resulta nas transformações das substâncias de reserva e reações químicas, que formam as substâncias que irão futuramente dar cor e aroma para a cerveja. Na fase biológica, existe uma plena atividade vital do embrião, onde ocorre respiração, desenvolvimento da radícula e acospira, mudanças anatômicas, formação e ativação enzimática e transformações das substâncias de reserva (NOHEL, 2012).

2.2. PRODUÇÃO DE CEVADA

Os maiores produtores mundiais de cevada são os países da Europa, seguidos pela Rússia, Canadá, Austrália, Ucrânia e Turquia, somente em 2013 foram produzidas 59,84 milhões de toneladas de cevada na Europa, o que corresponde a uma área plantada de aproximadamente 12,38 milhões de hectares. Na América Latina a Argentina destaca-se como o maior produtor (BRASIL, 2014).

Como já citado, a produção nacional de cevada concentra-se na Região Sul, mas existem também registros de cultivo nos estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo. Atualmente, a cevada é cultivada em mais de 100 mil hectares e a produção é de aproximadamente 380 mil toneladas por ano. Segundo o IBGE, a região onde se tem a maior produção é na cidade de Guarapuava, no estado do Paraná, com uma área colhida de cerca de 14.500 hectares, resultando em 13% da produção nacional (CONAB, 2014).

Clima, genética e manejo são fatores determinantes na produção de cevada com padrão de qualidade para malteação, particularmente em relação ao poder germinativo, tamanho, teor de proteína e sanidade dos grãos. Desta forma, seguir as indicações técnicas da Comissão de Pesquisa de Cevada da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), no tocante às práticas de manejo da cultura, é fundamental para a obtenção de um produto com a qualidade exigida pela indústria de malteação (EMBRAPA TRIGO, 2013c). Neste contexto, a Figura 2.1 mostra as zonas de produção de cevada cervejeira no estado do Paraná, com os respectivos períodos de semeadura, tendo por base o zoneamento agrícola de risco climático definido pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

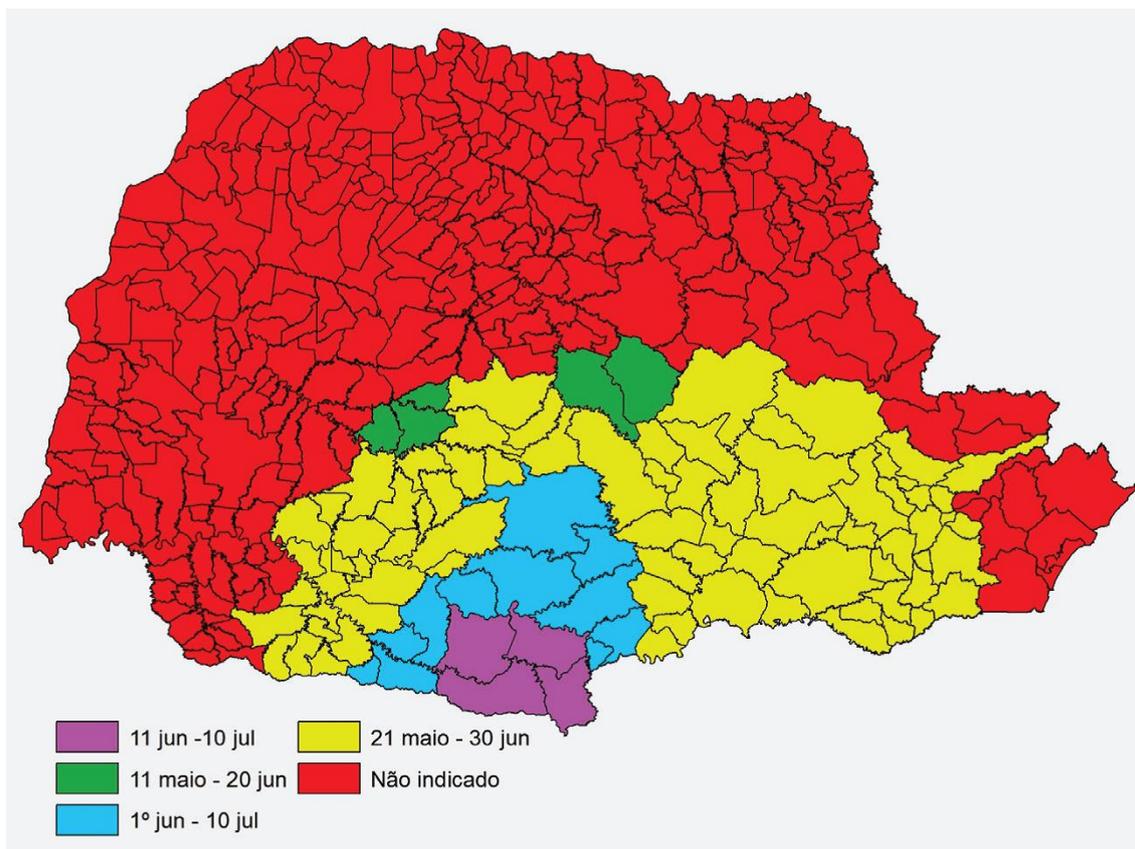


Figura 2.1 Zoneamento Agrícola de Risco Climático para cevada cervejeira no Paraná.

A cevada requerida pela indústria cervejeira deve atender a critérios de qualidade específicos para este segmento industrial e a quantidade de proteínas é uma das características essenciais para a qualidade do malte produzido, pois elevadas quantidades de proteína diminui a disponibilidade de carboidratos influenciando negativamente o processo de fabricação da cerveja (FOX et al., 2002). Várias instituições de pesquisa dedicam-se ao desenvolvimento de cultivares de cevada que possam produzir malte de alta qualidade para a indústria cervejeira e ao mesmo tempo possuam a produtividade agrícola necessária para sua viabilidade econômica (OSTERGAARD et al., 2002).

2.3. CULTIVARES DE CEVADA CERVEJEIRA INDICADOS PARA O CULTIVO NO PARANÁ

Um cultivar é resultado de melhoramento em uma variedade de planta que a torne diferente das demais em sua coloração, porte, resistência a doenças. A nova

característica deve ser igual em todas as plantas do mesmo cultivar e deve ser mantida ao longo das gerações. Embora um novo cultivar seja diferente dos que o originaram, este não pode ser considerado geneticamente modificado, pois o que ocorre é uma nova combinação do seu próprio material genético. Atualmente existem cerca de 1.265 cultivares patenteados no Brasil e quase dois mil pedidos de patente já analisados ou em análise pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) (BRASIL, 2013b).

A escolha do cultivar mais competitivo na região de intenção de cultivo é fator decisivo para o sucesso do empreendimento (MINELLA, 2012). De acordo com a Embrapa os cultivares de cevada registrados e indicados para cultivo nas safras de 2013/2014 para a Região Sul do Brasil são: BRS Cauê e BRS Elis (EMBRAPA TRIGO, 2014).

O cultivar BRS Cauê é produto do cruzamento entre o cultivar BRS 195 e o cultivar BRS Borema. A planta apresenta um porte anão e sob condições normais de desenvolvimento não ultrapassa 80 centímetros de altura. Possui um potencial de rendimento de 6.000 kg/ha. O tamanho do grão é classificado como classe 1, o que o torna mais valorizado pela indústria. Apresenta ampla adaptação ao solo e clima, com desempenho competitivo nas principais regiões do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. O malte da BRS Cauê produzido na Região Sul, apresenta perfil de qualidade que atende as especificações estabelecidas pela indústria cervejeira (EMBRAPA TRIGO, 2013a).

O cultivar BRS Elis é produto do cruzamento entre o cultivar BRS 195 e o cultivar Scarlett. A planta apresenta também um porte anão não ultrapassando os 75 centímetros de altura, o mesmo potencial de rendimento e classificação da BRS Cauê, e o malte produzido com esta cultivar de cevada também atende aos requisitos de qualidade estabelecidos pela indústria cervejeira nacional (EMBRAPA TRIGO, 2013b).

2.4. CARACTERIZAÇÃO DO GRÃO DE CEVADA

A planta da cevada pertence à família *Gramineae*, a mesma família das gramíneas, e este grupo em particular possui importância econômica por conter

espécies como trigo, cevada, centeio, aveia, arroz, milho, painço e sorgo (BRIGGS *et al.*, 1981).

2.4.1. Classificações da cevada

A cevada pode ser classificada quanto ao aproveitamento, quanto à época de semeadura e quanto à morfologia da espiga (ZSCHOERPER, 2009). Em relação ao seu aproveitamento, a cevada pode ser dividida em cevada cervejeira ou cevada forrageira (PORTO, 2011). A cevada cervejeira é aquela que cumpre os padrões de qualidade (características químicas, físicas e biológicas) para a malteação e posterior fabricação de cerveja. A cevada forrageira é aquela que não cumpre os padrões de qualidade para ser utilizada na fabricação de malte e, portanto é destinada à alimentação animal (ZSCHOERPER, 2009).

Quanto à morfologia, a cevada pode apresentar espigas de seis ou de duas fileiras (NOHEL, 2012). A espiga da cevada de seis fileiras apresenta em cada nó seis flores que serão todas fecundadas, possui formação irregular dos grãos, pois não há espaço para o crescimento total o que faz com que os grãos sejam menores que o dos cultivares de cevada de duas fileiras. Esta característica dos grãos implicará em uma absorção de água desuniforme na etapa de maceração no processo de maltagem (KUNZE, 1999). A cevada de seis fileiras apresenta também um teor elevado de proteínas (entre 11,5% a 12,5%), o que conseqüentemente leva a um maior conteúdo de enzimas, resultando em um malte com menor teor de amido, geralmente recomendado para a fabricação de *whisky* (HOUGH, 1996).

Diferentemente da anterior, a cevada com espiga de duas fileiras apresenta-se desta forma, pois somente as flores centrais são fecundadas o que proporciona um crescimento mais simétrico (BRIGGS *et al.*, 1981). Esta diferença pode ser claramente visualizada na Figura 2.2. A espiga dos cultivares com esta característica é achatada e os grãos são maiores e de dimensões mais uniformes, além disso, o grão apresenta casca mais fina, maior teor de extrato e menor teor de proteína, facilitando o processo de malteação (ZSCHOERPER, 2009; KUNZE, 1999).

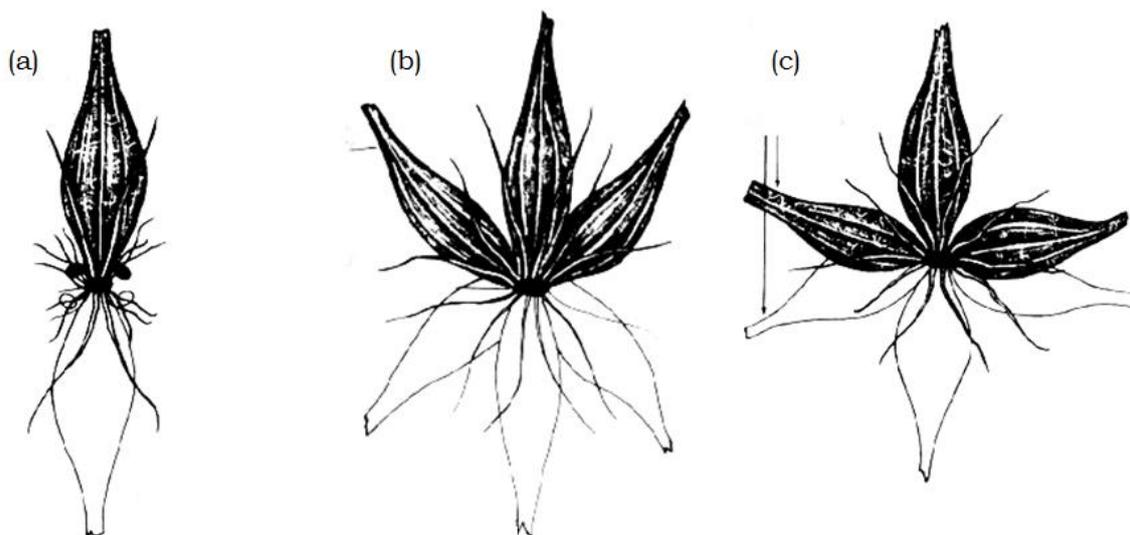


Figura 2.2 Arranjo geral de grãos em cevadas vistos de baixo. Os grãos mostrados em mais detalhes surgem de um nó, os grãos mostrados com contorno surgem em um nó acima. (a) Cevada de Duas Fileiras. (b) Cevada de Seis Fileiras. (c) Cevada de Seis Fileiras “frouxa”, também chamada de Cevada de “Quatro” Fileiras.

Outra classificação importante para o cultivar de cevada e que reflete diretamente em seu potencial econômico é a classificação da cevada quanto à época de semeadura, que pode ser realizada no inverno e no verão. A cevada de verão é assim chamada por ser semeada na primavera ou no início do verão. Possui casca mais fina, maior teor de extrato e menor teor proteico (NOHEL, 2012). Por sua vez, a cevada de inverno possui casca grossa, menor teor de extrato e maior teor proteico, tem requerimento de frio para que ocorra a passagem do estágio vegetativo para o reproduzido (floração). Na Europa, a época de semeadura ocorre em meados de setembro e no Brasil, ocorre do final de maio até meados de junho, sendo que a colheita da cevada nacional é realizada em outubro. O rendimento médio de campo da cevada de inverno é maior quando comparado com a de verão, sendo que no Brasil não é comum semear cevada de verão (ZSCHOERPER, 2009).

De acordo com a Portaria 691/1996, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a cevada poderá ser classificada em classes, segundo o tamanho do grão. A cevada pode ser classificada em três classes: primeira, segunda e terceira. A de primeira classe é a cevada cujos grãos inteiros e sadios fiquem retidos na peneira de crivos oblongos de 2,5 mm de largura. A de segunda classe é a cevada cujos grãos inteiros e sadios vazem na peneira de 2,5 mm de largura, mas fiquem retidos

na peneira de crivos oblongos de 2,2 mm de largura. A de terceira classe é a cevada cujos grãos inteiros e sadios vazem na peneira de crivos oblongos de 2,2 mm de largura (BRASIL, 1996).

Segundo Nohel (2012), a análise de sortimento é utilizada, através de um jogo de peneiras de 2,8, 2,5 e 2,2 mm. O ideal é que 90% das amostras devem ser classificadas como cevada de primeira classe, que é a fração com maior quantidade de amido e menor teor de proteínas, a qual ficará retida entre as peneiras de 2,5 e 2,8 mm. A cevada de segunda classe (retida entre as peneiras de 2,2 e 2,5mm) é malteada separadamente da primeira classe, pois absorvem mais rapidamente água que os grãos maiores. A terceira classe ou refugo (menor do que 2,2 mm) é economicamente inviável para a malteação, pois possui pouco amido e alto teor protéico e no máximo, 4% das amostras devem ficar retidas. O refugo incorpora os meio-grãos, grãos danificados e matérias estranhas.

2.4.2. Morfologia do Grão de Cevada

O grão de cevada constitui-se internamente por três elementos fundamentais, que são: embrião, corpo farinhoso (ou endosperma) e envoltório (NOHEL, 2012).

Devido ao fato do revestimento da semente ser fundido com o pericarpo, o grão de cevada maduro é um fruto indeiscente, uma cariopse. O grão é alongado, ligeiramente comprimido e aproximadamente em forma de charuto, como mostram as Figuras 2.3 e 2.4 (BRIGGS et al., 1981).

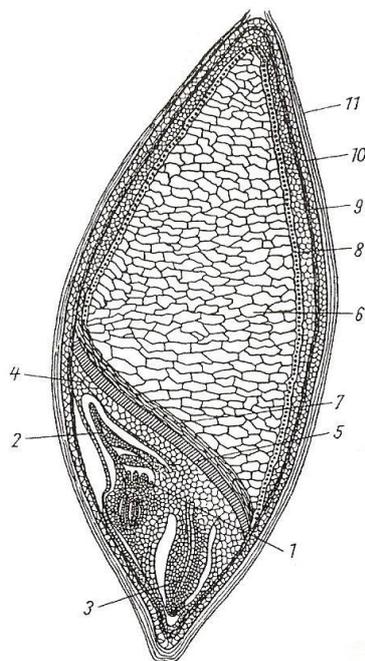


Figura 2.3 Corte longitudinal do grão de cevada: (1) Embrião, (2) Acrospira rudimentar, (3) Radícula rudimentar, (4) Escutelo, (5) Epitélio, (6) Endosperma, (7) Células vazias, (8) Camada de aleurona, (9) Testa, (10) Pericarpo e (11) Cascas.

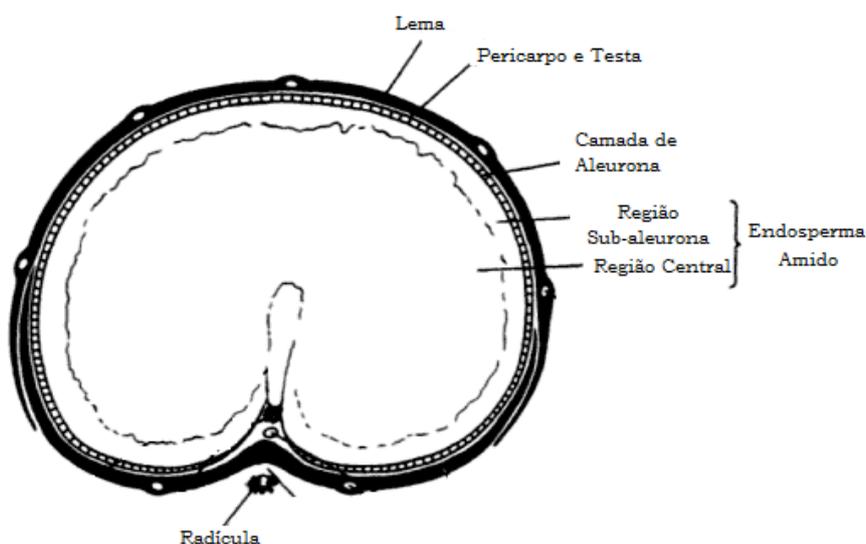


Figura 2.4 Diagrama da seção transversal, através da parte mais ampla do grão de cevada.

O embrião é a parte vital do grão, que irá originar uma nova planta de cevada através da germinação (NOHEL, 2012). O final do grão de cevada, onde está contido

o embrião, está ligado à radícula rudimentar. O embrião fica localizado na parte inferior do grão, ou seja, na base ou parte dorsal. A parte dorsal separa-se do endosperma através de uma fina camada denominada escutelo e por células epiteliais, as quais possuem uma parede celular muito fina (ZSCHOERPER, 2009). O lado ventral do grão tem um sulco, ou ruga, que corre ao longo de seu comprimento. O preenchimento da lacuna entre as extremidades da testa é, em grande parte ou totalmente, impermeável à água na entrada da base do grão, localizado perto da ponta da bainha da raiz (BRIGGS et al., 1981).

O embrião da cevada representa de 3 a 4% da massa do grão (em base seca) e contém aproximadamente 10% de proteínas, 25% de lipídeos, 10% de sacarose e 5% de minerais (PORTO, 2011).

O embrião pode ser destruído, antes do processo de malteação, através de: danos mecânicos durante a colheita, recepção, armazenamento e beneficiamento, secagem a altas temperaturas, proliferação de micro-organismos e insetos e durante a estocagem da cevada. Desta forma, os cuidados durante todos estes processos serão fatores decisivos para a viabilidade do embrião e ocorrência do processo germinativo para a produção do malte (NOHEL, 2012).

O corpo farinhoso ou endosperma encontra-se logo acima do embrião (representado pelo número 6 na Figura 2.3). É formado por células de amido e envolto por uma camada de células vivas, constituídas de proteínas e matérias graxas, denominada de aleurona (identificado como número 8 na Figura 2.3) (PORTO, 2011). As células de amido representam o cerne do corpo farinhoso, que constitui para o embrião o depósito de nutrientes e que é consumido durante a germinação. O amido, por sua vez, é formado pelo processo de fotossíntese e depositado sob a forma de pequenos grânulos. Esses grânulos de amido são envoltos por uma membrana de hemi-celulose e protoplasma, sendo que espaços intercelulares são preenchidos por substâncias proteicas e gomosas (NOHEL, 2012; ZSCHOERPER, 2009).

A camada de aleurona é formada por células muito resistentes, que praticamente não sofrem alteração, e é estimulada por ácido giberélico para produzir importantes enzimas que irão degradar o endosperma do grão durante a etapa de germinação (BRIGGS et al., 1981). Este mecanismo é acelerado quando o grão é hidratado e assim inicia-se o processo de envio de sinais hormonais à camada de aleurona, que por sua vez faz com que uma série de enzimas comece a hidrolisar

cadeias do material do endosperma. Os nutrientes e compostos hidrolisados migram até o embrião e são metabolizados por este, promovendo o desenvolvimento de uma nova planta. No processo de malteação, esse mesmo tipo de hidrólise e consumo de nutrientes ocorre, porém este processo é interrompido através da secagem dos grãos quando se atinge certo nível desejado. A secagem irá cessar a atividade enzimática e conseqüente interrompe a germinação (ZSCHOERPER, 2009).

O envoltório do grão de cevada tem o objetivo de proteger o embrião e o endosperma contra danos mecânicos, ataques fúngicos e de insetos, desde o crescimento do grão na espiga até o final da malteação. Representa uma barreira para a difusão de gases (CO_2 e O_2) e água. Evita uma rápida absorção de água na espiga durante a maceração e germinação, e dificulta a remoção de umidade da espiga durante a secagem do malte verde (NOHEL, 2012). O envoltório do grão é constituído por duas camadas abaixo da casca: a camada interna e a externa. A parte externa, denominada pericarpo se sobrepõe a parte interna, denominada testa (respectivamente representadas pelos números 10 e 9 na Figura 2.3) (PORTO, 2011).

A testa é semipermeável, permitindo somente a passagem de água, gás carbônico e oxigênio e retendo substâncias de massa molecular elevada (ZSCHOERPER, 2009). Íons e micro-organismos não conseguem passar para o embrião e endosperma e as substâncias solúveis no interior do grão são retiradas pela membrana (PORTO, 2011).

Por fim, a casca possui a função de proteger o grão contra forças mecânicas, bem como de ataques de micro-organismos e insetos. Além disso, regula a absorção de água durante a germinação e as trocas gasosas com o exterior. A casca apresenta em sua composição fibras alimentares, além de vitaminas do complexo B, minerais e antioxidantes (SILVA et al., 2007).

2.4.3. Composição Química da Cevada

A cevada é constituída principalmente por proteínas, lipídeos, sais minerais e amido, sendo este o principal componente do grão (QUINDE et al., 2004). A composição química da cevada é variável, dependendo dos cultivares e de diversos fatores externos, como, por exemplo, clima seco e manejo de culturas (PALMER,

1989; AMAN e NEWMAN, 1986; OSCARSSON et al., 1995). Para fins ilustrativos, a Tabela 2.1 traz a composição química da cevada segundo a literatura.

Tabela 2.1 Composição Química da Cevada (b.s.)

Componente	Palmer (1989)	Referência	
		Aman e Newman (1986)	Oscarsson et al. (1995)
Amido	53,0 – 61,0	65,0	49,4 - 63,1
Proteína	12,0 - 17,0	10,0	9,3 - 15,5
Lipídios	2,1 - 3,7	3,5	2,1 - 3,1
Fibra Alimentar	18,0 – 23,0	-	18,1 - 27,5
β-glucanas	-	3,0-4,5	3,8 - 7,9
Cinzas	2,3 - 4,0	-	1,9 – 2,4

2.4.3.1. Amido

O amido, cuja fórmula química é $(C_6H_{10}O_4)_n$, é o produto final do processo fotossintético, sendo a principal reserva de carbono das plantas (SANDHU et al., 2004). Representa a substância de reserva em maior quantidade no grão de cevada e o objetivo da formação de amido é o depósito energético para o embrião, que será utilizado durante o período da germinação. O amido é armazenado nas células do endosperma sob a forma de grânulos e esses são inseridos em uma matriz proteica (KUNZE, 1999). Os grânulos podem ser grandes ou pequenos. Os grandes, de 15 a 25 μm , constituem 90% da massa do amido no grão, enquanto os pequenos, de 2 a 5 μm constituem os 10% restantes (BRENNAN et al., 1996; NOHEL, 2012; PALMER, 1989; TANG et al., 2000). De acordo com a literatura o tamanho, distribuição e proporção dos grânulos de amido dentro do endosperma podem estar relacionados com a origem genética (TANG et al., 2000).

Segundo McDonald e Stark (1994) e Li et al. (2004), proteínas, lipídeos e fósforo são os componentes não-carboidratados em menor quantidade presentes no amido da cevada. Esses componentes têm mostrado influenciar as taxas de hidratação, as propriedades térmicas, as características reológicas, a susceptibilidade diante de α -amilase e seu processamento, e a qualidade do produto de hidrólise de amido. As faixas de proteína em amido de cevada purificado vão de 0,1 a 0,4%. Segundo Song e Jane (2000), Waduge et al. (2001), Vasanthan e Bhatta (1996), Tang et al. (2001) e Tang et al. (2002), o amido da cevada geralmente exhibe um padrão de raio-x tipo A, o que é característico de amidos de cereais.

De acordo com Biliaderis (1990), o amido, quando submetido a aquecimento ao longo de um intervalo de temperatura na presença de excesso de água, passa por uma fase de ordem-desordem, chamada de gelatinização, o que pode afetar tanto a cinética de secagem do grão quanto a malteação.

2.4.3.2. Proteínas

As proteínas são importantes na composição das enzimas, da matriz proteica e das substâncias estruturais (PORTO, 2011).

São fundamentais para a tecnologia cervejeira, pois influenciam a malteabilidade do grão e irão impactar na cerveja produzida, contribuindo em larga escala para a nutrição do fermento, viscosidade, cor, aroma, paladar, espuma, corpo e estabilidade da cerveja (NOHEL, 2012). Por exemplo, para a fabricação de cervejas escuras, necessita-se maior teor proteico e de cervejas claras, valores menores (TSCHOPE, 1999). A proteína dará origem à fonte de nutrientes do fermento na fermentação da cerveja assim como dará estabilidade para a espuma (ZSCHOERPER, 2009).

As proteínas estão localizadas principalmente na camada de aleurona e abaixo desta, e no corpo farinhoso. Na camada de aleurona, são eliminadas com o bagaço na brassagem. Abaixo da camada de aleurona (proteína de reserva), condiciona o teor de proteína do grão e sofre a maior decomposição durante a malteação. No corpo farinhoso, encontra-se em uma matriz proteica e principalmente nas paredes celulares das células de amido. Quanto maior quantidade, maior a dificuldade da citólise (modificação do endosperma). (NOHEL, 2012). Assim como as demais propriedades, a quantidade de proteína na cevada também está relacionada com as condições do solo, com as condições climáticas e com o cultivar (PORTO, 2011).

O valor padrão para o teor proteico da cevada varia de 10,5 a 11,5% (ZSCHOERPER, 2009). Valores extremos são da faixa de 7,5 a 16%. Quando se tem teor de proteína baixo (10 a 10,5%), tem-se cevada cervejeira de primeira linha e ideal para cerveja tipo Pilsen muito clara. Para valores entre 11 e 11,5%, a cevada é própria para cerveja clara tipo Lager. Quando o teor de proteína está muito baixo (abaixo de 9%), têm-se problemas com a estabilidade da espuma, falta de corpo na cerveja e deficiência nutricional para o fermento. Quando o teor de proteína se

encontra entre os valores de 11,5 e 12%, a cevada é ideal a produção de cervejas escuras, com aroma de malte e acentuado corpo na cerveja (NOHEL, 2012).

2.4.3.3. Outros Componentes

As substâncias graxas constituem cerca de 2,5% da cevada. Estão localizadas na camada de aleurona e no embrião sob a forma de gotículas. O valor normal de sais minerais está na faixa de 2,5 a 3,5% onde prevalecem os fosfatos de potássio (35%) (NOHEL, 2012). Alguns outros elementos são encontrados, como zinco, manganês e cobre, que serão importantes na fermentação da cerveja como micronutrientes para o fermento (PORTO, 2011).

As substâncias fenólicas da cevada se localizam no pericarpo, na camada de aleurona e em quantidades reduzidas na casca (PORTO, 2011).

Polifenóis de baixa massa molecular estão localizados nas cascas e são inibidores de germinação, formam também corantes, que poderão incrementar a coloração da cerveja.

As vitaminas da cevada fazem parte da constituição das enzimas (atuam normalmente como coenzimas), que tem fundamental importância para os processos vitais de germinação e fermentação. São localizadas nos tecidos vivos do grão (camada de aleurona e embrião). Durante a germinação, o embrião sintetiza determinadas vitaminas, por isso, o malte possui mais vitaminas do que a cevada, principalmente as vitaminas B₁, B₂, B₆ e H (NOHEL, 2012).

As enzimas se encontram em pequenas quantidades na cevada, porém a maior parte do conteúdo enzimático do malte terá origem durante todo o processo de malteação. Podem ser encontradas na cevada enzimas tais como α -amilase (presente no endosperma) e β -amilase (presente no pericarpo). Enzimas citolíticas, como β -glucanases, e enzimas proteolíticas também estão presentes na cevada, porém em pequenas quantidades (PORTO, 2011). As enzimas da cevada exercem papel fundamental para a fabricação de cerveja, pois são elas as responsáveis pela transformação das substâncias insolúveis estocadas no endosperma da cevada em substâncias solúveis durante o processo de malteação e de produção de cerveja (BRIGGS *et al.*, 1981).

A determinação do número de queda ou *falling number* é baseada na habilidade da α -amilase liquefazer o amido gelificado, de acordo com a atividade que possui. É um índice de sacarificação do amido, isto é, da conversão deste em

açúcares diretamente fermentescíveis. Quanto menor o valor do *falling number*, maior será o teor de amido danificado na amostra e maior será a atividade da α -amilase (atividade diastática). Danos provocados pela chuva em cevada podem fazer com que o processo de germinação comece com um conseqüente aumento da atividade de α -amilase, diminuindo o valor do *falling number*. Uma farinha com alta atividade diastática, possui um tempo de queda abaixo de 260 segundos, com baixa atividade diastática, 300 segundos, e uma atividade mediana, entre 260 e 300 segundos (BEST e MULLER, 1991).

2.4.3.4. Umidade

A umidade é outra propriedade variável do grão de cevada, sendo fortemente influenciada pelas condições climáticas da região de cultivo. Na Europa, a umidade se encontra normalmente abaixo de 14,5%; na Argentina e Austrália, de 10% a 12%; no Brasil, 14% a 22% (NOHEL, 2012). De acordo com Kunze (1999), a umidade do grão de cevada encontra-se na faixa de 14 a 15. Para Zschoerper (2009), a umidade varia de 12 a 20%. Segundo Tschope e Nohel (1999), a cevada pode conter de 10 a 20% de água, e o restante, de matéria seca.

A umidade da cevada possui importantes impactos econômicos. A comercialização da cevada é realizada por massa e desta forma, quanto maior o teor de umidade no grão, maior a taxa de respiração e possivelmente maiores serão as perdas de massa durante o armazenamento devido a dessorção de água. Para armazenamento seguro por períodos de tempo prolongados a cevada deve possuir umidade inferior a 12% (b.s.) e assim, caso a cevada vinda do campo não apresentar esta umidade ideal, ela terá de ser submetida à secagem (ZSCHOERPER, 2009). Quanto maior o teor de umidade, maior a necessidade de secagem da cevada, resultando em gastos energéticos elevados.

Além de implicações econômicas, a umidade da cevada possui também impactos qualitativos e tecnológicos. Quanto maior o teor de umidade, maior o risco de deterioração qualitativa durante o armazenamento, pois pode ser reduzida a dormência da cevada, o que irá retardar o atingimento da maturidade de malteação. Quando a umidade da cevada está acima do desejado, possibilita-se maior proliferação de micro-organismos e insetos, o que implica em uma significativa queda da qualidade da cevada (NOHEL, 2012).

Tendo em vista os importantes impactos econômicos e qualitativos da umidade do grão de cevada, o conhecimento do comportamento deste parâmetro com variáveis que possam afetá-lo é de fundamental importância para a otimização de processos de secagem visando à redução de consumo energético, e para armazenagem eficiente, minimizando perdas de produtividade e qualidade da cevada para a malteação.

2.5. SECAGEM E ARMAZENAMENTO DA CEVADA

A secagem é definida como o processo de remoção de uma fase volátil (comumente, mas não exclusivamente, a água) de um produto sólido, ou seja, é a operação unitária na qual a atividade de água de um determinado produto é diminuída pela remoção de água, através de seu aquecimento. Em produtos de origem vegetal, a secagem é utilizada com o objetivo de preservar a atividade enzimática original e reduzir e/ou evitar a contaminação por micro-organismos. No fenômeno de secagem, devem ser considerados o conteúdo inicial de umidade do material, o conteúdo final de umidade a que o material pode chegar (umidade de equilíbrio) e de que maneira a estrutura do sólido influencia o transporte da água do seu interior à sua superfície.

A presença da água no produto pode ser medida de diferentes formas, mas nem todos os métodos indicam a disponibilidade da água para os micro-organismos, uma vez que nem toda a água do grão está igualmente disponível. A disponibilidade de água em materiais higroscópicos, tais como frutos e derivados, é mais indicada pela atividade de água (a_w) ou pela umidade de equilíbrio, com a umidade relativa do ar ambiente. A atividade de água e a umidade relativa, quando atingido o equilíbrio, são numericamente iguais. Grãos e sementes secos e com baixo nível de danificação mecânica apresentam condições de estabilidade, tendo baixa taxa respiratória durante a armazenagem. O aumento do teor de umidade induz ao aumento desta taxa e, conseqüentemente, ao aumento da taxa metabólica dos fungos presentes na superfície e no interior destes grãos (COSTA, 2010).

Santos e Couto (1999) afirmam que, para que a cevada esteja apta a ser armazenada por períodos longos, o grão deve ter teor de água inicial igual ou inferior a 12%, sendo que grãos de cevada armazenados com teores de água inadequados

podem deteriorar-se e arruinar todo lote. Para umidades superiores a esta, deve-se proceder com a secagem do grão, entretanto existem restrições para a secagem da cevada cervejeira, pois conforme a umidade inicial do grão, a cevada não pode ser aquecida acima de um determinado valor, para que não ocorra gelatinização do amido e consequente perda de poder germinativo (BILIADERIS, 1990).

O poder germinativo representa a percentagem de grãos vivos em uma amostra, independente se os grãos estão em período de dormência ou não (KUNZE, 1999). A determinação do poder germinativo pode ser feita através do método rápido denominado Vitascope, que consiste na redução do sal incolor Tetrazolio para formação de coloração avermelhada. Essa reação é catalisada pelas oxido-redutases, ou seja, só ocorre em grãos vivos (grãos que ficam avermelhados estão vivos) (ZSCHOERPER, 2009). Um valor padrão para capacidade germinativa é de 95% (TSCHOPE, 1999).

Além de garantir o fornecimento de matéria-prima para a produção de malte em períodos de entressafra, o armazenamento tem também como objetivo a quebra da dormência da cevada recém-colhida. Para que ocorra essa quebra, os inibidores de germinação (ácido felúrico, ácido abscisínico, cumarina, ácido fenólico e outros) necessitam ser desdobrados ou oxidados, durante a fase de maturação pós-colheita, ou necessitam ser lixiviados, durante o processo de maceração. A dormência é uma proteção natural contra a germinação do grão de cevada na espiga, que poderia acontecer quando da ocorrência de chuva antes da colheita (7 a 10 dias). Este processo retarda a germinação, afetando negativamente a qualidade do malte (TUNES et al., 2009).

A dormência é dividida em duas etapas: dormência fundamental e sensibilidade à água. Na dormência fundamental, o grão de cevada não germina, mesmo sob condições ótimas de suprimento de oxigênio, temperatura ideal e umidade adequada. Essa dormência pode ser quebrada com solução de peróxido de hidrogênio a 0,1%, ácido giberélico, aquecimento da cevada seca para 40 a 50 °C ou retirada ou perfuração do envoltório. Na sensibilidade à água, o grão não germina quando este é colocado num ambiente com excesso de umidade, logo, esta sensibilidade pode ser quebrada com uma solução de peróxido de hidrogênio a 0,1%, com retirada ou perfuração do envoltório, aquecimento da cevada seca para 40 a 50 °C e manutenção desta temperatura por 1 a 2 semanas (NOHEL, 2012).

O valor da sensibilidade à água fornece informações de como proceder durante o processo de malteação. Quanto maior o valor de sensibilidade em água, menor deve ser o tempo de maceração submerso em água e vice-versa (KUNZE, 1999). O valor ideal para a cevada é que seja menor do que 25% (NOHEL, 2012).

2.6. UMIDADE DE EQUILÍBRIO

É do conhecimento que a umidade dos grãos se equilibra com a umidade do ar que os envolve, e a esta condição de equilíbrio denomina-se “equilíbrio higroscópico”. Neste processo de equilíbrio de umidade, pode ocorrer perda ou ganho de massa, dependendo se o grão irá ceder ou absorver água (COSTA, 2010).

A umidade de equilíbrio de um material, em uma determinada temperatura, é definida como o teor de umidade correspondente ao equilíbrio entre as pressões de vapor d'água no material e no meio ambiente. Esta variável determina o teor mínimo de umidade que o material pode atingir em um determinado conjunto de condições operacionais (ARRUDA, 2008). Este parâmetro possui uma importância fundamental nos processos de secagem, na armazenagem e no controle de qualidade dos grãos (BARROZO et al., 1998) e é importante ressaltar que em temperaturas mais elevadas o equilíbrio é atingido com maior rapidez (COSTA, 2010).

A umidade de equilíbrio em uma dada temperatura e umidade relativa do ar é determinada pela equação 2.1, onde m_e representa a massa do grão quando o equilíbrio é atingido e m_f representa a massa seca do grão.

$$X_e = 100 * \left(\frac{m_e}{m_f} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Existem duas formas experimentais para a obtenção da relação entre a umidade de equilíbrio do material com a temperatura e a umidade relativa do ambiente: o método dinâmico e o método estático (MOREIRA, 2000). No método dinâmico, ar a temperatura constante escoa sobre uma amostra do material a ser analisado em um sistema fechado, realizando-se medições da umidade do ar até que se atinja um valor constante. Após esse período, a umidade do sólido é medida. Com isso, obtém-se a relação entre a umidade do material com a umidade do ar a uma dada temperatura. As principais vantagens do método dinâmico sobre o

estático são sua velocidade e o fato de permitir fácil variação da temperatura do ar. Com o método dinâmico, o tempo necessário para o equilíbrio é pequeno comparado com o tempo para se atingir o equilíbrio através do método estático, que pode levar semanas.

No método estático, uma amostra do material é colocada em um recipiente fechado hermeticamente, em uma atmosfera de umidade relativa conhecida. Geralmente, utilizam-se soluções salinas saturadas ou soluções concentradas de ácido sulfúrico para o controle da umidade do ar. Mede-se a massa da amostra periodicamente, até que se obtenha massa constante. Posteriormente, analisa-se o material quanto à umidade, obtendo-se a relação entre a umidade do material (medida) e do ar (conhecida, de acordo com a solução utilizada), a uma dada temperatura. A vantagem do método estático se deve à maior facilidade de obter condições termodinâmicas constantes (VIEIRA, 2012; MOREIRA, 2000).

Tendo em vista que as condições do ar na secagem com ar ambiente não são constantes e tampouco as condições de armazenamento de grãos o são, o conhecimento da umidade de equilíbrio em diferentes condições de temperatura e umidade do ar é necessário para a manutenção das condições ótimas destes processos. Neste contexto, a determinação de isotermas de equilíbrio é indispensável para a avaliação da interação do sólido com o vapor d'água presente no ar de secagem (LEHN e PINTO, 2004).

2.7. ISOTERMAS DE SORÇÃO

A obtenção experimental das isotermas de equilíbrio pelo método estático pode ser conseguida com a utilização de soluções ácidas de diversas concentrações ou soluções salinas saturadas, para regular a pressão de vapor nas vizinhanças do material (VIEIRA, 2012; MOREIRA, 2000). Entretanto, segundo Barrozo et al. (1998), o uso das soluções salinas é mais comum devido à segurança no manuseio e pela maior facilidade de manter a umidade relativa constante, pois, se houver evaporação de água, alguns sais precipitam, mas a umidade relativa não varia (MOREIRA, 2000).

A água presente nos alimentos é um fator decisivo na inibição ou propagação de reações, portanto existem diversas reações químicas, enzimáticas e microbiológicas que influenciam a qualidade final do alimento. As diferentes

maneiras pelas quais a água se correlaciona com a matriz alimentícia dependem da condição dos parâmetros de armazenagem do produto, bem como de sua disponibilidade comercial e de suas condições ótimas de processo. Uma maneira de correlacionar a disponibilidade de água com a umidade dos alimentos é através das isotermas de adsorção e dessorção, as quais permitem análises do relacionamento entre os diversos componentes do alimento com a água (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014).

As isotermas descrevem o equilíbrio higroscópico com o meio ambiente, sob condições constantes de temperatura e umidade e, como citado anteriormente, a determinação destas curvas constitui um estágio indispensável para melhor entender os problemas de modelagem dos processos de secagem e armazenamento.

A água contida nos alimentos interage com a matriz sólida de diferentes maneiras e podem existir moléculas de água que são fortemente retidas, sendo que sua eliminação é difícil nos processos de secagem. Geralmente, a água em alimentos pode apresentar-se de duas formas, como "água ligada" e "água ativa". A água ativa é a água que pode ser eliminada facilmente nos processos de secagem, a água ligada por sua vez, possui uma menor pressão de vapor e, conseqüentemente uma menor mobilidade (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014).

Através das isotermas, é possível também obter informações sobre o estado da água no sistema durante o processo de secagem. A Figura 2.5 mostra a curva característica do comportamento da umidade do material em função da umidade relativa do ar, para diversos materiais alimentícios. Vale ressaltar que as isotermas podem ser de adsorção ou dessorção, dependendo do processo empregado para sua construção; entretanto, ambas são conhecidas como isotermas de sorção (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014; PORPINO, 2009).

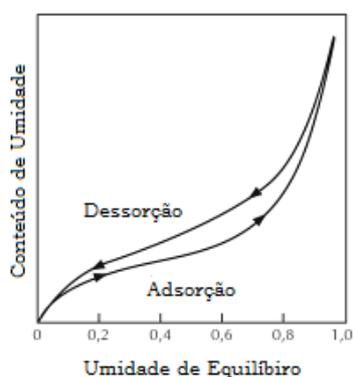


Figura 2.5 Isoterma característica de alimentos.

Qualquer processo de sorção para um fluido (gás ou líquido) em uma superfície sólida é diferenciado pela forma de retenção do soluto ou solvente, sendo o sólido denominado adsorvente, cuja função é reter o composto de interesse. A retenção do soluto na superfície do sólido pode ser devido a forças físicas, como a de van der Waals, ou devido a reações químicas em certos pontos da superfície do sólido (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014), caracterizando os processos de adsorção física e química, respectivamente. É justamente este processo de interação entre a água e o sólido adsorvente que define o comportamento representado graficamente pelas isotermas, sendo resultado das interações dos diversos constituintes químicos do alimento com a água.

Em processos de sorção, uma vez que o sólido está em equilíbrio, existe uma relação entre o conteúdo de soluto na fase sólida e na fase fluida. A concentração na fase sólida é expressa como a quantidade de sorvente pela unidade mássica do adsorvente, enquanto na fase fluida, é expressa pela quantidade de soluto pela unidade fluida.

De acordo com a literatura, existem comportamentos típicos já bem estudados que podem ser observados nos estudos para a construção de isotermas de sorção. A Figura 2.6 representa alguns destes comportamentos.

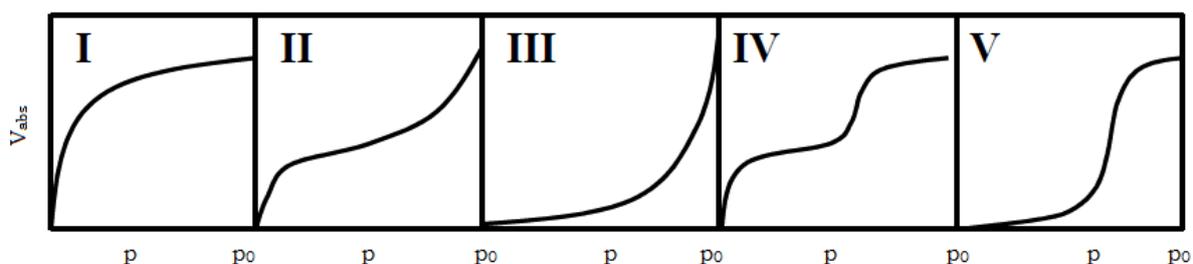


Figura 2.6 Tipos de Isoterma de Sorção.

A isoterma do tipo I, também conhecida como isoterma de adsorção de Langmuir, é amplamente discutida na literatura, representa processos de adsorção caracterizados pelo enchimento da camada monomolecular de água na superfície interna de um material. O tipo II representa a isoterma em forma de “S”, também conhecida como curva sigmoide, em que as curvas são côncavas para cima. Este tipo de comportamento é tipicamente observado em processos que levam em conta

a existência de camadas múltiplas na superfície interna de um material. O tipo III, conhecido como isoterma de Flory-Huggins, representa bem o comportamento de adsorção de solventes ou plastificantes, enquanto o tipo IV descreve a adsorção de um sólido hidrófilo, o qual incha até que seja alcançado um máximo de hidratação local. Por fim, a isoterma do tipo V é a isoterma de adsorção em multicamadas de Brunauer-Emmett-Teller (BET).

Em particular, as isotermas encontradas com maior frequência em produtos alimentícios são as dos tipos II e IV (BRUNAUER et al., 1940; BLAHOVEC e YANNIOTIS, 2009; BASU et al., 2006; MATHLOUTHI e ROGÉ, 2003). Vale ressaltar que não somente tipos diferentes de alimentos podem apresentar comportamentos diferentes, mas também a literatura relata que o mesmo cereal, mas de cultivares distintas, pode apresentar diferentes isotermas de sorção (HONORATO, 2006).

Como discutido anteriormente, podemos ter isotermas de adsorção e dessorção e, em alguns casos, estas duas curvas podem apresentar comportamentos diferentes. Caso sejam observadas diferenças nos valores de umidade de equilíbrio obtidos pelos processos de adsorção e dessorção, o fenômeno de histerese é identificado (MARINOS-KOURIS e MAROULIS, 1995; MOREIRA, 2000; IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014). Este comportamento pode ser claramente identificado na Figura 2.5.

Várias teorias tentam explicar a histerese, sendo que uma delas faz referência à rigidez dos poros. Assumir que os poros são estruturas rígidas não é aplicável aos alimentos e portanto, esta teoria não consegue explicar este comportamento em grãos de cereais (MUJUMDAR, 1995).

A histerese apresenta importantes implicações teóricas, como a irreversibilidade da sorção de água por materiais biológicos, já que, por definição, um processo é reversível quando a mesma condição de equilíbrio pode ser atingida para pequenas variações nas condições externas. Outra implicação teórica importante é o cuidado ao se proporem equações que descrevam a umidade de equilíbrio, em que se deve considerar a irreversibilidade do processo (VIEIRA, 2012).

Para a maioria dos materiais biológicos, a umidade de equilíbrio pode apresentar valores diferentes dependendo se o grão aumentou sua umidade (adsorção) ou diminuiu (dessorção), mesmo que a temperatura e a umidade relativa do ar sejam iguais nos dois casos. Nos alimentos com alto teor de açúcares e pectinas, este fenômeno pode ser observado na região de baixo teor de umidade;

nos alimentos com alto teor de proteína, a histerese começa na região de elevada atividade de água, estendendo-se até que ele atinja a atividade de água nula; e nos alimentos com amido, um grande ciclo de histerese é apresentado com valor máximo de atividade de água de 0,70. A temperatura pode afetar o fenômeno de histerese, embora dependa do tipo do alimento estudado. Para alguns alimentos, este fenômeno pode ser eliminado através do aumento da temperatura, enquanto que em outros casos, histerese é independente da temperatura (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014; VIEIRA, 2012; RESENDE, 2012).

Em isotermas típicas de alimentos (Figura 2.7), podem-se distinguir três zonas pouco delimitadas (I, II e III) que indicam a forma como a água está ligada ao alimento (FENNEMA, 2000).

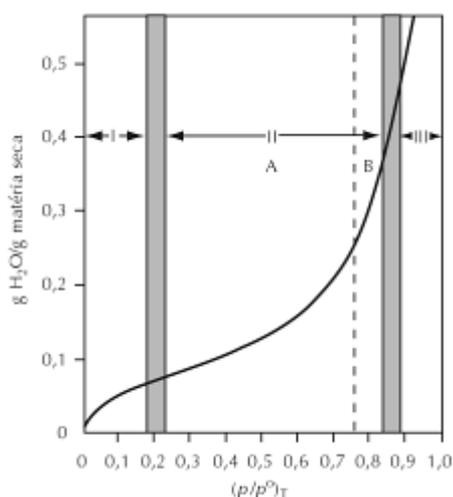


Figura 2.7 Zonas Características de Isotermas de Sorção em um Alimento.

A zona I representa a água mais fortemente ligada e menos móvel. Corresponde à água da camada monomolecular fixa aos grupos polares de certos compostos. A extração desta água é muito difícil, não é congelável e não se encontra disponível para atuar como solvente ou reagente, comportando-se simplesmente como parte integrante do sólido. A entalpia de vaporização dessa água é muito maior que da água pura. Corresponde a uma atividade de água (a_w) inferior a 0,2 até 0,3. O limite entre as zonas I e II é conhecido como o conteúdo de umidade da monocamada do alimento, que pode ser interpretada como a quantidade de água necessária para formar uma monocamada sobre os grupos altamente polares e acessíveis de matéria seca.

A zona II representa a água correspondente às camadas de hidratação dos constituintes solúveis (proteínas, açúcares, sais, etc) e está ligada por pontes de hidrogênio e interações dipolo-dipolo ou retida fisicamente em microcapilares de diâmetro inferior a 1 μm . O ponto de congelamento e a capacidade solvente da água encontram-se muito reduzidos, sendo que a a_w está entre 0,2 a 0,3 e 0,8 aproximadamente. A entalpia de vaporização da água é moderadamente maior do que a da água pura, o que depende da proximidade da água aos constituintes não aquosos. A água que se adiciona a um alimento com um conteúdo de água no limite das zonas I e II iniciará processos de dissolução, atuará como solvente e promoverá o inchamento da matriz sólida. O início dos processos de dissolução mobilizará os reagentes, determinando assim uma aceleração da velocidade das reações.

A zona III representa a maior parte da água dos tecidos frescos; é a água menos ligada e mais móvel (molecularmente) dos alimentos. Pode ser facilmente eliminada por diversos procedimentos. Sua retenção é determinada pelo pH e pelas forças iônicas, sendo a responsável pela alteração dos alimentos, já que está disponível para o desenvolvimento de micro-organismos e para as reações químicas. Corresponde a valores de a_w entre 0,8 e 0,99. A entalpia de vaporização da água é essencialmente igual a da água pura. Esta água é facilmente congelável.

2.8. MODELOS DE ISOTERMAS DE SORÇÃO

Muitos modelos matemáticos de isotermas de sorção encontram-se reportados na literatura para correlacionar dados de equilíbrio para vários tipos de alimentos. Porém, estes modelos geralmente são limitados, sendo válidos apenas em alguns intervalos de atividade de água e para alguns tipos de alimentos específicos. (HONORATO, 2006).

Desta maneira, para obter a isoterma de sorção, é essencial estabelecer os limites de umidade, em que se iniciam o crescimento microbológico e outros tipos de reações que prejudicam o armazenamento. As isotermas de sorção podem ser obtidas experimentalmente, apesar deste processo normalmente requerer uma extensiva quantidade de tempo. Desta maneira, é importante obter modelos que permitam o cálculo destas isotermas de um certo alimento, dentro de condições especificamente definidas de processo ou de armazenagem. Os diversos modelos

podem ser classificados em duas grandes categorias: gerais ou específicas. Os modelos gerais são baseados em considerações teóricas de tipo físico ou químico, que prediz o comportamento de diferentes tipos de alimentos em uma faixa grande de variação de atividade de água (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014).

Os modelos específicos são baseados em observações empíricas de comportamentos de um certo alimento, e estes modelos podem ser aplicados unicamente nestes tipos de alimentos e na faixa de atividade de água obtida experimentalmente. Alguns destes modelos são baseados na equação Brunauer, Emmett e Teller (BET); no entanto, outras são equações empíricas de dois ou três parâmetros que são úteis para predição das propriedades de adsorção de água, enquanto elas promovem pouca informação sobre as interações entre a água e outros componentes dos alimentos (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014).

Segundo Van der Berg e Burin (1981), mais de 200 equações teóricas, semiteóricas e empíricas de isotermas foram desenvolvidas para representar o comportamento entre umidade de equilíbrio, a umidade relativa do ambiente e a temperatura, para os mais diversos tipos de materiais, incluindo materiais biológicos. A Tabela 2.2 traz algumas referências que trabalharam com modelos de isotermas de sorção.

Tabela 2.2 Referências de Isotermas de Sorção

Referência	Modelos Estudados	Material Estudado	Temperatura (°C)
Aviara et al., 2006	Chung e Pfof, Halsey, Henderson, Oswin, GAB	Malte de sorgo	40, 50
Barreiro et al., 2003	Freundlich, BET, Harkins–Jura, Smith, Halsey, Henderson, Chung e Pfof, Kuhn, GAB	Malte	15, 25, 35
Cal-Vidal, 1982	Chung e Pfof	Milho	22
Cruz et al., 2001	GAB, BET	Filme de metilcelulose e etilcelulose	9, 15, 20, 25, 35
Lehn e Pinto, 2004	Henderson-Thompson, Chung e Pfof, Oswin e Halsey, Lewis, Brooker, Henderson, Page, Overhults	Arroz em casca	10, 15, 20
Santos et al., 2014	GAB	Bagaço de cevada	20, 30, 40
Seid e Hensel, 2012	Henderson, Oswin, GAB, Halsey	Pimenta	30, 50, 70
Talla, 2012	GAB	Kilishi	30, 40, 50
Timmermann et al., 2001	GAB, BET	Tomate, farelo de milho, farinha de peixe, amido de batata, amido de trigo, trigo, frango cozido, peru, farinha de milho, arroz, milho, glutens de trigo, leite desnatado	30, 25, 25, 20, 20, 25, 19,5, 22, 25, 25, 30, 3, 34, respectivamente

Devido ao grande número de modelos existentes, este capítulo trará apenas os utilizados neste trabalho e que foram indicados para a previsão de comportamento em alimentos. Os modelos apresentados são: BET (1938), GAB

(GARCIA-ALVARADO et al, 1995), Chung e Pfost (1967), Halsey (1948), Henderson (1952) e Oswin (1946).

2.8.1. Modelos de Adsorção Molecular

A predição de isotermas de sorção é baseada nos caminhos pelos quais a água é retida na superfície sólida. Dependendo de como a adsorção é assumida (monocamada ou multicamada), diferentes modelos são obtidos (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014).

2.8.1.1. Modelo BET

Sob o nome de Brunauer, Emmett e Teller, a equação de BET é provavelmente a mais frequentemente utilizada na caracterização de sorção de água nos alimentos, e que se baseia na fisiossorção. No desenvolvimento deste modelo, assume-se que a superfície adsorvida é uniforme e não porosa, e que não existem interações laterais entre as moléculas adsorvidas.

Moléculas de soluto são adsorvidas na superfície, em sucessivas camadas completas ou não, as quais estão em equilíbrio e com as moléculas do fluido. A taxa de retenção sobre as primeiras camadas é igual à taxa de dessorção da segunda camada.

Além disso, presume-se que a energia de interação de adsorvente-sorvente de todas as moléculas em que a primeira camada é idêntica, e a energia de interação nas outras camadas é igual, entre as moléculas do composto puro na fase líquida (calor de condensação).

Na verdade, esses pressupostos não são completamente atendidos. As superfícies não são homogêneas, uma vez que existem mais pontos ativos do que pontos não ativos; as primeiras moléculas de água são absorvidas nestes mais pontos ativos, e como a interação é mais forte, emitem um calor maior. Além disso, a multicamada pode começar a ser formada antes da monocamada ser completada, uma vez que as interações de adsorvente-sorvente e sorvente-sorvente não podem ser muito diferentes umas das outras (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014).

Sabe-se que a equação BET é utilizada apenas para um número limitado de atividade de água, de 0,3 a 0,4 (TIMMERMANN et al, 2001). Para Ibarz e Barbosa-Cánovas (2014), essa faixa vai de 0,1 a 0,5. Porém, apesar de sua limitação teórica,

o conceito de monocamada utilizado verificou ser um guia razoável no que diz respeito a vários aspectos de interesse em alimentos secos (TIMMERMANN et al, 2001).

O modelo BET, apresentado pela Equação 2.2, traz dois parâmetros em sua equação: x_{mB} , teor de umidade de monocamada e c_B , constante de energia (TIMMERMANN et al, 2001).

$$X_e = \frac{x_{mB} \cdot c_B \cdot UR}{(1 - UR)(1 + (c_B - 1) \cdot UR)} \quad (2.2)$$

2.8.2. Modelos Empíricos e Teóricos de Isotermas de Sorção

Nem todos os modelos relacionam os dados corretamente para diferentes tipos de alimentos, e devido às diferentes formas de isotermas, existem modelos que se ajustam melhor a uma série de alimentos do que a outros. Qualquer modelo de sorção é ajustado de uma maneira apropriada em todo o intervalo de atividade de água, pois a água associada com a matriz alimentar é associada com diferentes mecanismos e diferentes regiões de atividade de água. Desta maneira, antes de modelar uma isoterma de sorção para um alimento, é indicado conhecer algumas características sobre o alimento e o processo de adsorção/dessorção, para o propósito de aplicação de modelos que ajustem da melhor maneira cada situação.

2.8.2.1. Modelo Chung e Pfof

Chung e Pfof (1967) consideraram um corte transversal na fase adsorvida. Os sítios adsorventes na superfície exercem fortes forças atrativas sobre o gás na sua vizinhança. Estas forças são consideradas equivalentes às forças de van der Waals, considerando o aumento de adsorção e são consideradas tão grandes que muitas camadas adsorvidas podem ser formadas na superfície. As camadas são formadas sob baixa compressão devido às forças atrativas, e porque cada camada é comprimida pelas camadas adsorventes acima dela. Desta maneira, a compressão é a maior na primeira camada adsorvida, a segunda maior na segunda camada adsorvida, e assim por diante. Em seu trabalho, os valores foram de umidade de equilíbrio foram calculados para a cultura do milho.

A Equação 2.3 traz o modelo de Chung e Pfost (1967).

$$Xe = \frac{1}{B} \cdot \ln \left(\frac{1}{A} \cdot \ln(UR) \right) \quad (2.3)$$

O desenvolvimento do modelo de Chung e Pfost buscou tornar a constante B menos sensível a variações de temperatura, além de desenvolver uma equação que suporta aplicabilidade para toda a faixa de umidade relativa investigada. Para mais aplicabilidade do teste da equação desenvolvida, testes estatísticos de comparação de dois grupos de dados calculados e experimentais foram realizados. A hipótese nula de nenhuma diferença entre o grupo de dados experimentais e o grupo dos dados calculado foi aceito para todos os materiais estudados (CHUNG e PFOST, 1967).

2.8.2.2. Modelo GAB

O modelo de Guggenheim, Anderson e de Boer, mais conhecido como GAB, tem sido utilizado amplamente para descrever o comportamento de sorção de alimentos nos últimos anos (TIMMERMANN et al, 2001).

A equação GAB traz três parâmetros e para uma faixa de atividade de água mais prática, de 0,1 a 0,9. A equação de GAB foi recomendada pelo Grupo Europeu COST (Cooperation in Science and Technology) no ramo de Propriedades Físicas dos Alimentos como equação fundamental para caracterização de sorção de água em materiais alimentícios (WOLF et al, 1985).

Ambas as equações de BET e GAB estão intimamente relacionadas, por elas resultarem de um mesmo modelo estatístico. Postulando que os estados de moléculas de água na segunda camada e em camadas mais altas são as mesmas entre si, mas diferentes no estado líquido, o modelo de GAB introduziu uma segunda etapa de sorção bem diferenciada para as moléculas de água. Este pressuposto introduz um grau adicional de liberdade (uma constante adicional, k), através da qual o modelo de GAB ganha maior versatilidade. Uma das três constantes GAB é, como na equação BET, a capacidade de monocamada agora designado por x_{mG} . As outras duas constantes da equação de GAB, c_G e k, são constantes de energia como a constante c_B da equação de BET, mas com significados físicos um pouco diferentes. A constante c_B da equação de BET está relacionada logarithmicamente

com a diferença entre o potencial químico das moléculas de sorvente no estado líquido puro e na primeira camada de sorção. Por outro lado, a constante de GAB, c_G está relacionada com a diferença desta magnitude nas camadas superiores e na monocamada, enquanto que a constante k é relacionada com essa diferença no estado líquido puro do sorvente e nas camadas superiores, e o produto de ambos ($c_G \cdot k = c_{B(G)}$) representa o equivalente ao c_B de BET. A terceira constante de GAB, k , é praticamente sem exceção, perto, mas menor que uma unidade, o que constitui uma característica definitiva desta isoterma (TIMMERMANN, 1989; GARCIA-ALVARADO et al, 1995).

A Equação 2.4 traz o modelo de GAB.

$$X_e = \frac{x_{mG} \cdot c_G \cdot k \cdot UR}{(1 - k \cdot UR)(1 + (c_G - 1) \cdot k \cdot UR)} \quad (2.4)$$

2.8.2.3. Modelo Halsey

O modelo de Halsey é aplicado para adsorção em multicamadas. O diferencial deste modelo está em sua habilidade em confirmar a natureza de poros heterogêneos no adsorvente (HALSEY, 1948).

A Equação 2.5 traz o modelo de Halsey.

$$UR = e^{A \left(\frac{1}{X_e}\right)^B} \quad (2.5)$$

Ao desenvolver este modelo, Halsey assume que a interação da molécula varia com o inverso da potência do parâmetro B a partir da superfície. Sabe-se na prática que o valor do parâmetro B gira em torno de 3. Halsey explica que a variação no parâmetro B na seguinte maneira: valores altos de B indicam que as forças de atração na superfície pelo adsorvente caem rapidamente com a distância, o que pode ocorrer para interações da natureza específica; valores baixos de B resultam onde as forças são mais do tipo van der Waals e se estendem a uma distância grande. Logo, o valor de B representa a natureza das interações adsorvente-sorvente (HALSEY, 1948).

2.8.2.4. Modelo Henderson

O modelo de Henderson (Henderson, 1952) foi desenvolvido como um modelo de dois parâmetros, e tem sido aplicado em análises de umidade de equilíbrio em diversos materiais. Os trabalhos de Gustafson e Hall (1974) e Alam e Shove (1973) mostram que este modelo não previa bem a umidade de equilíbrio acima de 85% de umidade relativa, para milho e soja, respectivamente.

A Equação 2.6 traz o modelo de Henderson.

$$(1 - UR) = e^{A.X_e^B} \quad (2.6)$$

2.8.2.5. Modelo Oswin

Este modelo é ideal para a predição de isotermas de proteínas, o qual foi desenvolvido empiricamente para curvas sigmoidais. A Equação 2.7 possui duas constantes A e B (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2014).

$$X_e = A \left(\frac{UR}{1 - UR} \right)^B \quad (2.7)$$

2.8.3. Referências de Trabalhos de Cevada

Quatro fontes de dados de umidade de equilíbrio em relação à umidade relativa do ambiente publicadas sobre isotermas de equilíbrio para a cevada foram identificadas: Basunia e Abe, 2005; Bakharver, 1948; Sun & Woods, 1994; Vemuganti, 1980; porém todos os estudos foram realizados a uma faixa de temperatura limitada. Não foram considerados os efeitos das diferenças de cultivares e técnicas de medição, porque nenhum pesquisador relatou resultado em duas variedades e também não há dois investigadores que utilizaram a mesma amostra de grãos, logo é impossível testar se os investigadores e ou técnicas diferem.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo tem por objetivo explicar sobre detalhes acerca dos materiais, equipamentos e métodos utilizados neste trabalho.

3.1. AMOSTRA DE CEVADA

Para os experimentos, foi selecionada uma amostra de 1000 g de cevada dos cultivares BRS Cauê e BRS Elis da safra de 2013/2014, que foi gentilmente doada pela Cooperativa Agrária Agroindustrial.

3.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas realizadas nas amostras de cevada foram análises de sortimento, de umidade e de proteína.

A análise de sortimento das amostras de cevadas foi realizada para determinação da distribuição granulométrica. Para realizar a análise, foi utilizada uma máquina classificadora, com um conjunto de peneiras (de baixo para cima): um fundo; uma peneira com crivos oblongos de 2,2 mm; uma, de 2,5 mm e uma, de 2,8 mm. A análise de sortimento durou 5 minutos. Após a classificação, as amostras retidas entre as peneiras de 2,5 e 2,8 mm foram armazenadas para realizar os ensaios. As amostras retidas nas demais peneiras foram descartadas.

Para a medição da quantidade de umidade na cevada, utilizou-se o método gravimétrico à 105°C em três repetições, conforme método AACC 44-15.02.

Para a medição da quantidade de proteína na cevada, utilizou-se o método de Dumas em três repetições, conforme método 4.3.2 Analytica EBC.

3.3 ANÁLISES FISIOLÓGICAS

As análises físico-químicas realizadas nas amostras de cevada foram análises do poder germinativo, de sensibilidade à água e de *falling number*.

Para a medição do poder germinativo de cevada, seguiu-se a Regra de Análise de Sementes (BRASIL, 1992). As determinações foram realizadas em três repetições com o uso de solução de tetrazólio a 1%.

Para a medição da sensibilidade à água de cevada, foram submetidos 100 grãos a 4 mL de água e outros 100 grãos a 8 mL de água, por 72 horas. A diferença entre grãos germinados em 4 mL e em 8 mL é a porcentagem de sensibilidade à água. Este método é conhecido como método BRF, conforme o método 3.6.2 Analytica EBC.

Para o processo de medição do *falling number*, utilizou-se o equipamento da marca Perten Instruments, modelo FN 1900. Para tanto, foi obtida uma amostra de 250 g de farinha de cevada moída em um moinho de martelo. O tempo, em segundos, necessário de aquecimento, agitação e queda devido à amostra ser suspensa sob o próprio peso foi considerado como o valor de *falling number*, de acordo com o método AACC 56-81.03.

3.4. ANÁLISE DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

O procedimento experimental escolhido para determinação da umidade de equilíbrio foi o método estático com o uso de soluções salinas saturadas (MOREIRA, 2000).

3.4.1. Disposição do Experimento

A disposição do experimento foi composta por dois cultivares de cevada (BRS Cauê e BRS Elis) para seis soluções salinas. Foram realizados ensaios em triplicata, para que fosse possível verificar a reprodutibilidade dos dados, totalizando trinta e seis amostras para cada temperatura de estudo. Os ensaios foram conduzidos em três temperaturas: 40, 50 e 60 °C. Cada amostra era composta por vinte grãos.

As temperaturas de 40, 50 e 60 °C foram escolhidas, pois o controle de temperatura da secagem industrial da cevada varia entre elas. Essas temperaturas são necessárias para assegurar uma umidade adequada para armazenagem segura e também para dar início ao processo da malteação (NOHEL, 2012).

3.4.2. Sais

A Tabela 3.1 reúne informações acerca dos sais empregados. A pureza é uma propriedade que pode vir a causar impactos sobre os procedimentos ou resultados obtidos, logo todos os reagentes utilizados foram de grau de pureza analítica (P.A).

Tabela 3.1 Informações Quanto ao Fabricante e à Pureza dos Sais Utilizados no Experimento

Composto		Marca	Pureza (%)
Acetato de Potássio	(CH ₃ CO ₂ K)	Neon	99,4
Carbonato de Potássio	(K ₂ CO ₃)	Neon	99,8
Cloreto de Magnésio	(MgCl ₂)	Biotec	99,0
Cloreto de Potássio	(KCl)	Vetec	99,0
Cloreto de Sódio	(NaCl)	Neon	99,5
Nitrito de Sódio	(NaNO ₂)	Neon	99,8

Foram escolhidos os sais que proporcionassem uma faixa ampla de umidade relativa do ambiente, que circundava os grãos de cevada. O trabalho de Perry and Chilton (1973) foi adotado como referência para a escolha dos sais. A Tabela 3.2 apresenta os valores de umidade relativa do ambiente fornecida pelos sais, respectivamente, nas temperaturas de estudo.

Tabela 3.2 Umidade relativa proporcionada pelas soluções salinas saturadas, conforme temperaturas.

T (°C)	CH ₃ CO ₂ K	MgCl ₂	K ₂ CO ₃	NaNO ₂	NaCl	KCl
40	0,204	0,318	0,432	0,616	0,748	0,818
50	0,192	0,312	0,433	0,597	0,746	0,802
60	0,1793	0,2926	0,4330	0,5741	0,7450	0,8025

3.4.3. Preparação das Soluções Salinas

Para garantir a condição de saturação das soluções salinas nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, utilizou-se um banho de ultrassom, da marca Retsch, modelo UR1

para solubilizar os sais da Tabela 3.1. As soluções foram consideradas prontas quando corpo de fundo ficasse evidente a olho nu.

3.4.4. Aparato Experimental

Os recipientes utilizados para os experimentos foram reservatórios cilíndricos de vidro hermeticamente fechados.

As amostras de cevada foram dispostas em uma monocamada, formando uma superfície e depositadas em copos de plástico de 50 mL, o qual era perfurado na parte lateral e inferior, para que os grãos ficassem suspensos e mantivessem apenas em contato com a umidade fornecida pela solução, evitando assim contato com o líquido, que se encontrava no fundo do recipiente.

A Figura 3.1 mostra um esquema do reservatório.



Figura 3.1 Recipiente onde os grãos ficavam em contato com a umidade relativa desejada.

3.4.5. Adsorção

Para garantir a condição de adsorção, as amostras foram pesadas e posteriormente, secas na estufa à temperatura de 102 °C, por um período de cinco dias. Após foram pesadas novamente.

Posteriormente, as trinta e seis amostras foram alocadas nos recipientes, representados pela Figura 3.1, e retornaram à estufa na temperatura de estudo (40, 50 e 60 °C). Após sete dias, começaram as pesagens até que a massa da amostra se apresentasse constante. Considerou-se que o equilíbrio havia sido atingido quando a massa não variasse em duas pesagens consecutivas, o que levou cerca de três semanas.

3.4.6. Dessorção

Para garantir a condição de dessorção, as amostras foram alocadas na atmosfera oferecida pela solução salina de cloreto de potássio, a uma temperatura de 20 °C, para que os grãos umedecessem com o vapor produzido. Cerca de 24 horas foram necessárias para que se atingisse o valor de 28% (b.s.), valor este maior que a estimativa da umidade de equilíbrio da cevada na maior umidade relativa a ser testada no processo de dessorção das temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Em seguida, as amostras foram alocadas nos recipientes, representados pela Figura 3.1, e colocadas na estufa na temperatura de estudo. Após sete dias, começaram as pesagens até a massa ficar constante. Considerou-se que o equilíbrio havia sido atingido quando a massa não variasse em duas pesagens consecutivas, o que levou cerca de três semanas.

Todas as pesagens foram realizadas em uma balança analítica da marca Shimadzu, modelo AY220, de capacidade de 220g, com precisão de 10^{-4} g.

3.4.7. Software para Análise dos Dados de Umidade de Equilíbrio

O Software Statistica, versão 10.0, foi utilizado para ajustar os valores obtidos experimentalmente da umidade de equilíbrio aos modelos apresentados no item 2.8 deste trabalho. Para tanto, o algoritmo de Levenberg-Marquardt (LEVENBERG, 1944; MARQUARDT, 1963) foi utilizado como o método iterativo, a partir de análise de regressão não linear dos mínimos quadrados, em um nível de confiança de 95%.

A análise estatística dos modelos de isotermas, para determinar sua capacidade em reproduzir os dados experimentais, foi realizada por meio de comparação dos parâmetros, dos coeficientes de determinação (R^2), da soma dos quadrados dos resíduos (SSR), do erro percentual (P) e do erro padrão (SE).

A soma dos quadrados dos resíduos (SSR), o erro percentual (P) e o erro padrão (SE) são dados pelas equações 3.1, 3.2 e 3.3, respectivamente.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (X_{e_{obs}} - X_{e_{pred}})^2 \quad (3.1)$$

$$P(\%) = \frac{100}{N} \sum \frac{|X_{e_{obs}} - X_{e_{pred}}|}{X_{e_{obs}}} \quad (3.2)$$

$$SE = \left(\frac{\sum (X_{e_{obs}} - X_{e_{pred}})}{N - p} \right)^{0.5} \quad (3.3)$$

Nos testes de hipótese, valores P foram considerados para determinar a significância estatística, com o intuito de rejeitar ou não o valor da hipótese nula. A hipótese nula considera que não existe relação entre dois grupos. Foi considerado o nível de significância igual a 95%, ou seja, o nível de confiança (α) é igual a 0,05.

As hipóteses consideradas foram (i) a influência do cultivar na umidade de equilíbrio; (ii) a influência da condição inicial de secagem na umidade de equilíbrio, buscando entender o fenômeno de histerese.

Para o primeiro teste de hipótese, os grupos experimentais eram os cultivares BRS Cauê (amostra 1) e BRS Elis (amostra 2), na mesma temperatura, mesma condição e mesma umidade relativa ambiente fornecida pela solução salina.

Para o segundo teste de hipótese, os grupos experimentais eram as condições adsorção (amostra 1) e dessorção (amostra 2), na mesma temperatura, mesmo cultivar e mesma umidade relativa ambiente fornecida pela solução salina.

3.5. ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura da marca TESCAN, modelo VEGA3 LMU, do Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da Universidade Federal do Paraná foi utilizado para obter imagens da cevada.

Para a preparação das amostras para as análises, foi utilizado um metalizador SCD 030 para depositar uma camada fina de ouro, com o intuito de torná-las condutoras de elétrons recobrimo todas as amostras, conforme Figura 3.2. O tempo de deposição para recobrimento das amostras foi de 120 segundos



Figura 3.2 Amostras Recobertas por uma Camada de Ouro.

As análises foram realizadas em quatro amostras de cevada, sendo uma do cultivar BRS Cauê antes da secagem; uma, depois da secagem; uma do cultivar BRS Elis antes da secagem; e uma depois da secagem. Esta análise foi realizada para verificar possíveis diferenças microscópicas nos grãos de cevada antes e após o processo de secagem.

As imagens das partes externas das cevadas foram obtidas com aumento de 36, 100, 500 e 5000 vezes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é dedicado às apresentações dos resultados obtidos das análises e discussões consequentes.

4.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

A Tabela 4.1 apresenta os resultados da análise de sortimento.

Tabela 4.1 Classificação das Amostras de Cevadas BRS Cauê e BRS Elis Quanto às Porcentagens Retidas no Peneiramento.

Peneira	% Retida	
	BRS Cauê	BRS Elis
> 2,8mm	1,1	0,8
Entre 2,5 e 2,8mm	97,9	97,8
Entre 2,2 e 2,5mm	0,8	1,2
< 2,2 mm	0,2	0,2

Analisando a Tabela 4.1, mais de 97% das amostras para ambos os cultivares ficaram retidos entre as peneiras de 2,5 e 2,8mm.

Estas amostras obtidas foram classificadas em grande parte como primeira classe, cujo potencial cervejeiro é maior do que as demais classificações.

A Tabela 4.2 traz os resultados das análises de umidade e proteína.

Tabela 4.2 Resultados das Análises de Umidade e Proteína

Análises	BRS Cauê		BRS Elis	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Proteína (%)	11,1	0,1	8,8	0,1
Umidade (%)	13,6	0,1	13,8	0,1

Analisando a Tabela 4.2, as umidades iniciais dos cultivares de cevada foram muito próximas uma da outra, variando 0,1%. Logo, não é possível diferenciar os valores de umidades iniciais para os cultivares estudados, em nível de 5% de significância ($p = 0,139$).

Porém, quando se analisa as variações na quantidade de proteína entre os cultivares, percebe-se um valor superior do cultivar BRS Cauê, em aproximadamente 26 %, ao se comparar com o cultivar BRS Elis, em nível de 5% de significância ($p = 0,000$).

De acordo com a literatura, a amostra da cevada BRS Cauê apresentou-se ideal para produção de cerveja clara tipo Lager, pois apresentou em média uma porcentagem de proteína de 11,1%. Já a amostra de cevada BRS Elis, apresentou uma quantidade de proteína abaixo do ideal para as propriedades organolépticas desejadas para a cerveja. Nestes casos, seria necessário uma *blendagem* com outros lotes de cevada com o intuito de suprir esta deficiência.

4.2. ANÁLISES FISIOLÓGICAS

A Tabela 4.3 traz os resultados das análises de poder germinativo, sensibilidade à água e *falling number*.

Tabela 4.3 Resultados das Análises de Poder Germinativo, Sensibilidade à Água e *Falling Number*.

Análises	BRS Cauê		BRS Elis	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Poder Germinativo (%)	99	0,6	100	0,6
Sensibilidade à Água (%)	11	0,6	4	0,6
<i>Falling Number</i> (s)	311	1,0	312	1,7

Analisando a Tabela 4.3, todos os valores encontrados de poder germinativo, sensibilidade à água e *falling number* para os cultivares BRS Cauê e BRS Elis foram satisfatórios, quando comparados com a literatura.

Para o cultivar BRS Elis, o valor da sensibilidade à água foi melhor do que para o cultivar BRS Cauê, pois apresentou uma perda média de 4%, por sensibilidade à água. Ainda assim, o cultivar BRS Cauê apresentou um bom valor de sensibilidade à água, pois está abaixo de 25%, conforme afirma Nohel (2012).

Os valores de *falling number* e poder germinativo apresentaram-se dentro dos limites ideais conforme afirmam Tschope (1999) e Best e Muller (1991), que são

acima de 95% e de 300 segundos, respectivamente. Os valores apresentaram-se muito semelhantes para os cultivares.

4.3. ANÁLISE DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

A Tabela 4.4 apresentar os valores observados de umidade de equilíbrio para os cultivares de cevada BRS Cauê e BRS Elis, através da adsorção e dessorção, para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Tabela 4.4 Umidade de Equilíbrio das Cevadas BRS Cauê e BRS Elis, para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C, para as seis soluções salinas (% - b.s.)

Umidade de Equilíbrio (Xe %)												
	Cevada BRS Cauê						Cevada BRS Elis					
	Adsorção			Dessorção			Adsorção			Dessorção		
	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
CH ₃ CO ₂ K	9,76	7,31	5,66	9,63	7,00	5,79	14,02	8,71	7,44	13,93	8,68	7,40
	9,55	6,87	5,82	9,59	6,95	5,81	13,95	8,64	7,37	13,97	8,63	7,53
	9,65	6,82	5,70	9,61	6,91	5,62	13,84	8,53	7,26	13,82	8,69	7,25
MgCl ₂	12,45	9,99	8,96	12,48	10,08	8,72	16,00	11,05	9,81	15,82	10,92	9,59
	12,42	9,92	8,68	12,54	10,04	8,79	15,83	10,88	9,64	15,93	10,84	9,62
	12,61	10,15	8,71	12,42	9,94	8,83	15,65	10,70	9,46	15,70	11,04	9,73
K ₂ CO ₃	13,37	11,01	9,80	13,47	10,97	9,76	17,79	13,08	11,90	17,83	13,07	11,97
	13,44	11,07	9,95	13,68	11,16	10,02	17,75	13,04	11,86	17,76	13,15	11,89
	13,41	11,07	9,86	13,54	11,06	9,66	17,93	13,22	12,04	17,92	13,21	12,01
NaNO ₂	15,86	12,58	10,86	15,83	12,65	11,00	20,58	14,02	12,38	20,61	14,02	12,32
	15,91	12,63	11,00	15,76	12,59	11,03	20,55	13,99	12,35	20,53	14,13	12,36
	15,75	12,47	10,90	15,67	12,53	10,99	20,52	13,96	12,32	20,52	13,99	12,34
NaCl	20,24	15,15	11,65	20,35	15,24	11,54	22,51	16,33	13,78	22,51	16,24	13,82
	20,56	15,47	11,73	20,42	15,31	11,78	22,57	16,39	13,84	22,54	16,31	13,88
	20,43	15,34	11,94	20,52	15,41	11,98	22,48	16,30	13,75	22,48	16,28	13,73
KCl	23,46	16,74	13,25	23,60	16,84	13,28	25,15	17,71	14,35	25,29	17,71	14,51
	23,71	16,99	13,57	23,55	16,79	13,62	25,25	17,81	14,45	25,35	17,83	14,61
	23,60	16,88	13,71	23,75	16,99	13,58	25,46	18,02	14,66	25,23	17,95	14,51

Através da Tabela 4.4, pode-se observar que os valores da umidade de equilíbrio para BRS Elis são superiores aos do BRS Cauê em todas as condições. Também se observa que os valores da umidade de equilíbrio são muito próximos para as condições de adsorção e dessorção.

As Figura 4.1 e 4.2 apresentam os valores da umidade de equilíbrio dos cultivares BRS Cauê e BRS Elis, da Tabela 4.4, para as condições de adsorção e dessorção, soluções salinas e temperaturas de estudo.

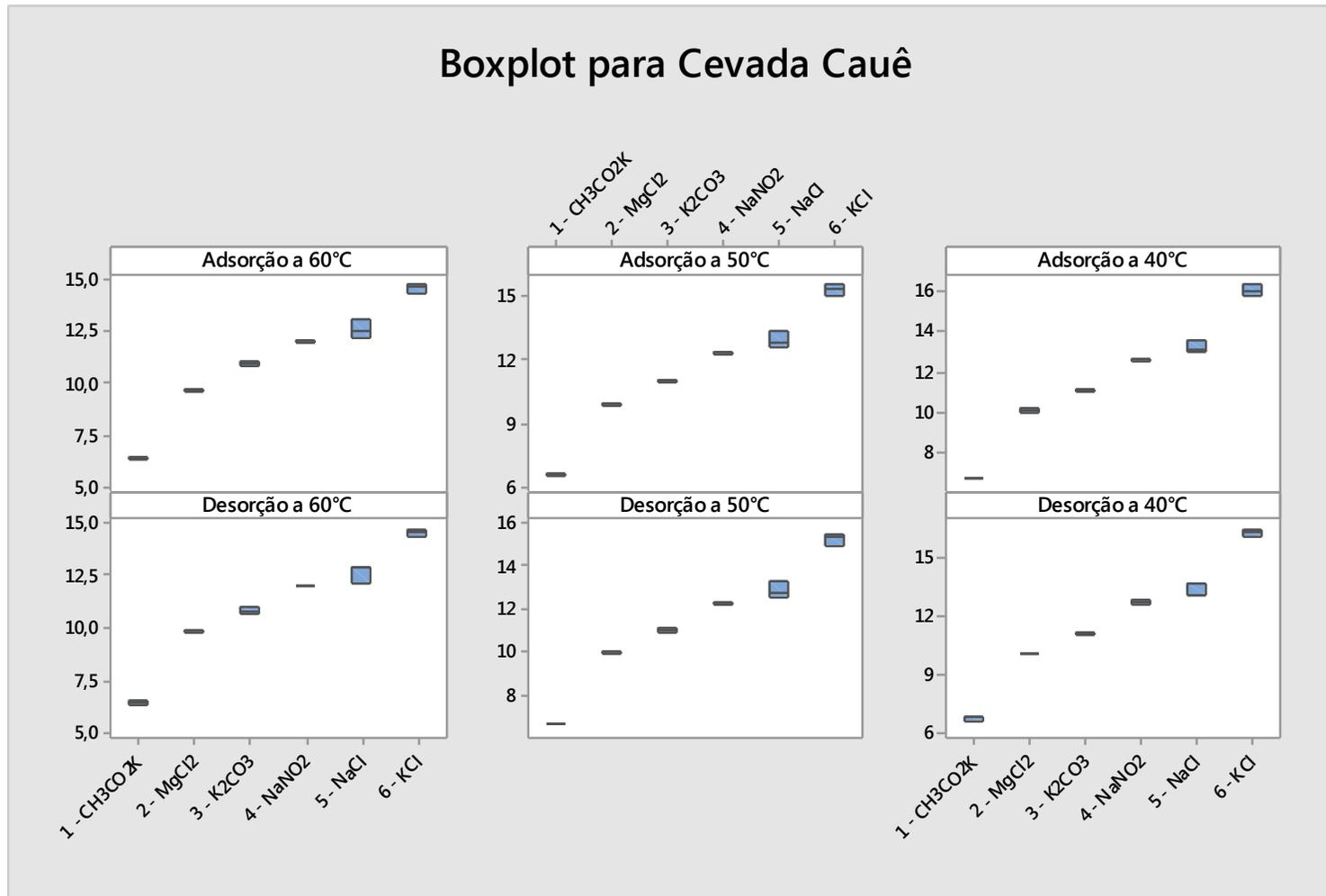


Figura 4.1 Valores das unidades de equilíbrio em função da temperatura para a Cevada Cauê

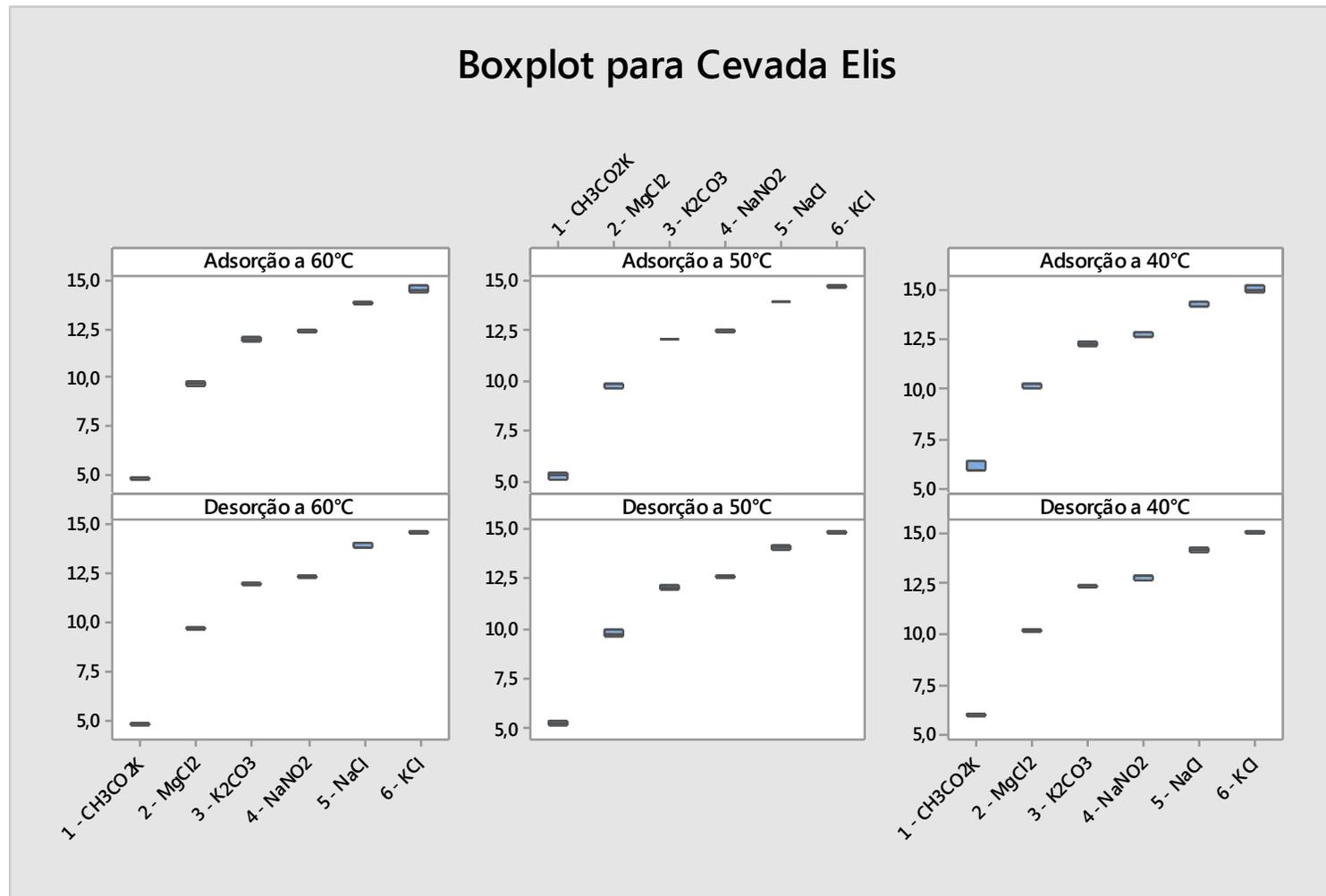


Figura 4.2 Valores das umidades de equilíbrio em função da temperatura para a Cevada Elis

Através da análise das Figura 4.1 e 4.2, pode-se observar que a variabilidade dos valores é sistêmica, ou seja, não há grandes disparidades com o aumento de temperatura ou umidade relativa ou condição de equilíbrio.

As Figuras 4.3 a 4.6 apresentam as médias dos valores de umidade de equilíbrio para os cultivares BRS Cauê e BRS Elis, nas condições de adsorção e dessorção.

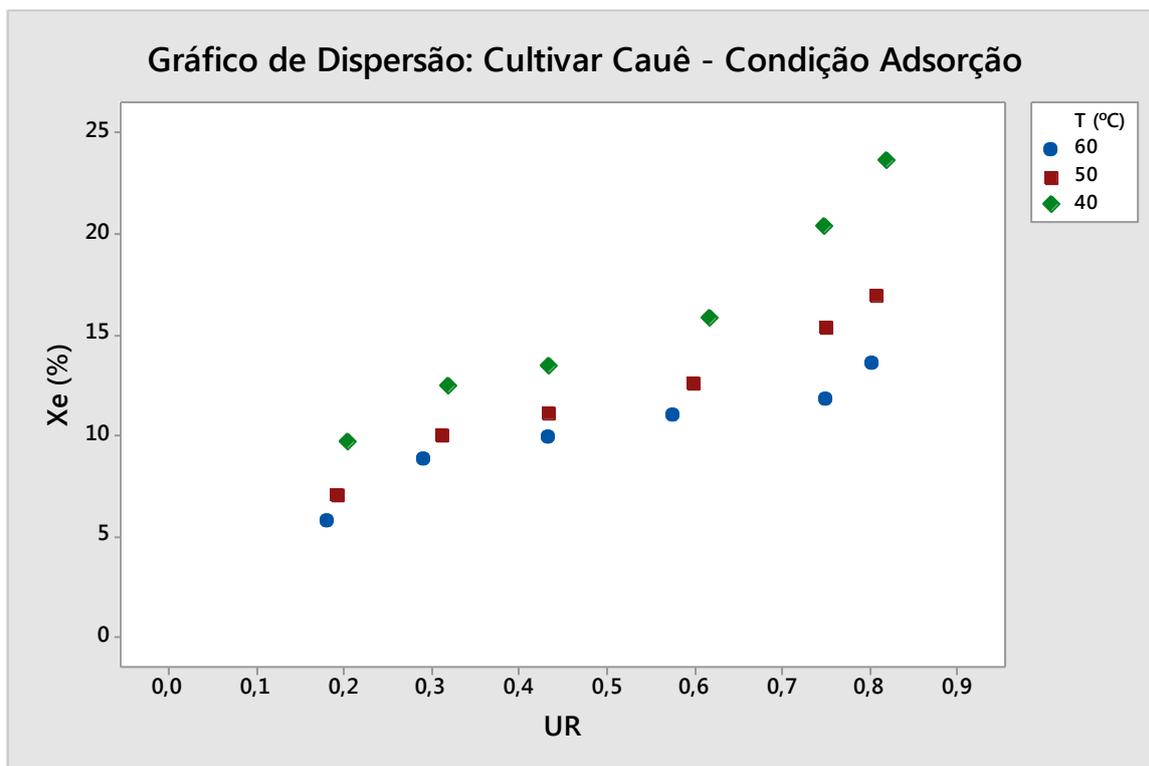


Figura 4.3 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Cauê para a condição de adsorção.

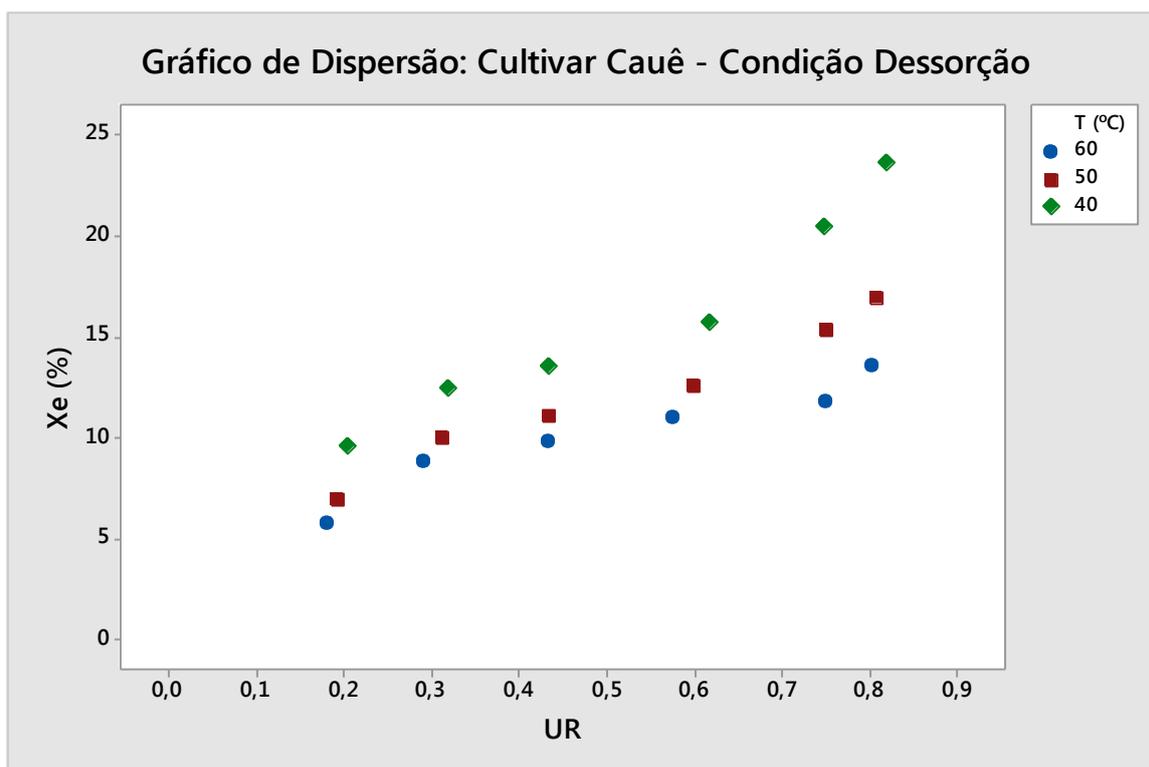


Figura 4.4 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Cauê para a condição de desorção.

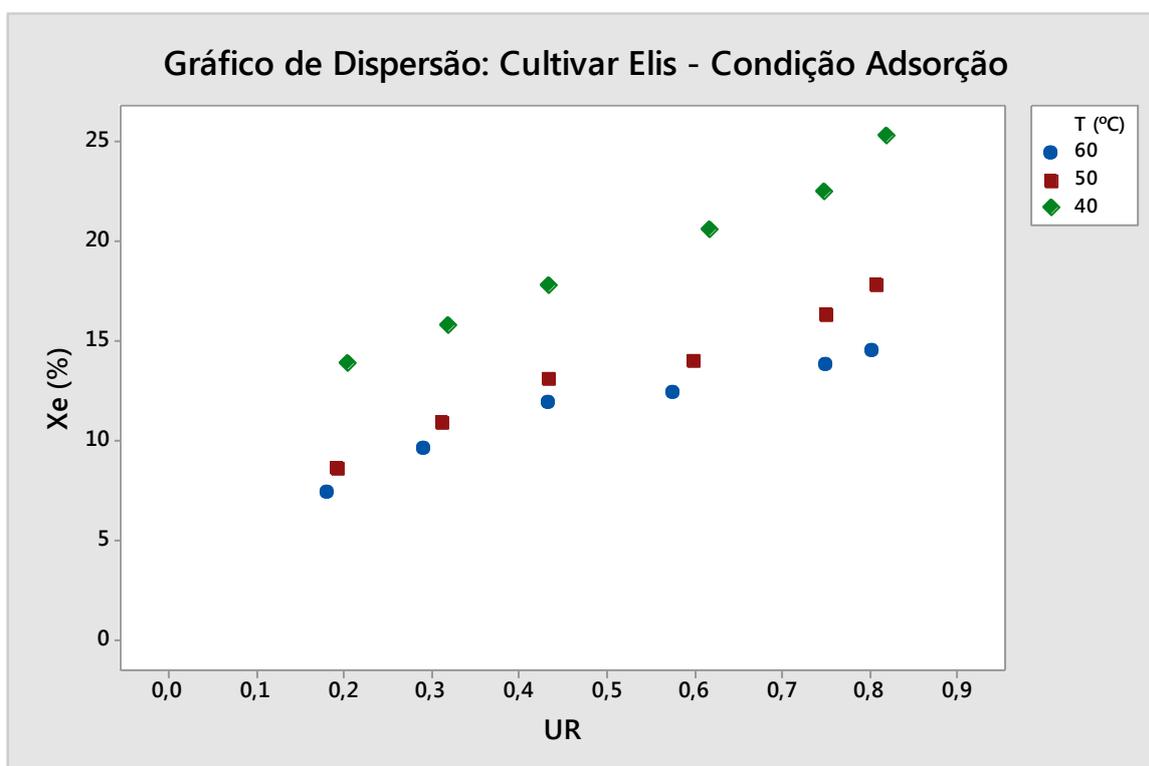


Figura 4.5 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Elis para a condição de adsorção.

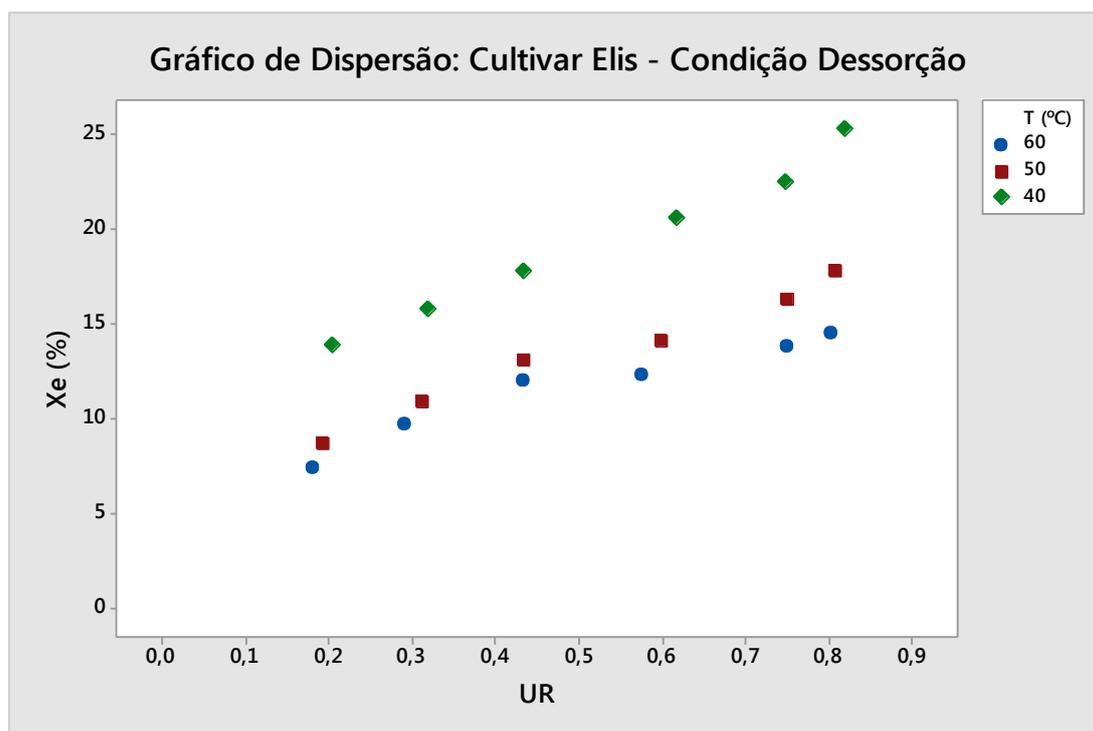


Figura 4.6 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Elis para a condição de dessecção.

As Figuras 4.3 a 4.6 apresentam um comportamento sigmóide. Com o aumento da umidade relativa do ambiente (ou atividade de água), pode ser observado um aumento da umidade de equilíbrio; com uma diminuição da temperatura de estudo, pode ser observado um aumento da umidade de equilíbrio. Também se pode observar que, com o aumento da temperatura, a distância entre as curvas diminui.

O mesmo comportamento pode ser observado com a diminuição da umidade relativa do ambiente. O mesmo comportamento foi observado nos trabalhos de Sun e Woods (1994) quando estes estudaram cevada a baixas temperaturas; Lehn e Pinto (2004) quando estudaram secagem de arroz em casca; Lahsasni et al. (2002) quando estudaram isotermas de casca de pêra espinhosa; Thys et al. (2010), quando estudaram isotermas de adsorção de pinhão.

4.3.1. Teste de Hipótese: Influência do Cultivar (BRS Elis versus BRS Cauê)

Para poder avaliar se a influência do cultivar é ou não significativa na determinação da umidade de equilíbrio, foi realizado um teste t. Foram avaliados os

valores p resultantes, sendo que foi considerado o nível de confiança igual a 95%, logo o nível de significância (α) é igual a 0,05. Os grupos experimentais eram os cultivares BRS Cauê (amostra 1) e BRS Elis (amostra 2), na mesma temperatura, mesma condição e mesma umidade relativa ambiente fornecida pela solução salina.

Os valores p do teste de hipótese entre cultivares estão apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Valor p entre cultivares (Teste t)

Sal	Valor p					
	Adsorção			Dessorção		
	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
CH₃CO₂K	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
MgCl₂	0,000	0,006	0,008	0,000	0,001	0,001
K₂CO₃	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003
NaNO₂	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
NaCl	0,002	0,009	0,002	0,001	0,003	0,004
KCl	0,001	0,004	0,009	0,000	0,002	0,011

Como todos os valores p da Tabela 4.5 foram inferiores ao nível de significância ($\alpha = 0,05$), a hipótese nula será rejeitada, logo não se pode considerar que os cultivares são iguais no que diz respeito à umidade de equilíbrio.

A literatura traz informações sobre a influência dos cultivares na determinação e comparação de parâmetros. Segundo Song e Jane (2000), Waduge et al. (2001), Vasanthan e Bhatta (1996), Tang et al. (2001) e Tang et al. (2002), alguns cultivares de cevada exibem uma mistura de padrões de amido de cevada dos tipos A e B.

Morsi e Sterling (1960) estudaram as cristalinidades relativas entre os tipos de amido de cevada, e atribuíram as grandes diferenças encontradas às diferenças de cultivares e às umidades do amido.

Vasanthan e Bhatta (1996) estudaram a temperatura de gelatinização do amido de três cultivares de cevada por calorimetria exploratória diferencial (DSC) e constataram diferentes temperaturas de gelatinização iniciais, finais e de pico, sendo essas diferenças atribuídas aos cultivares estudados.

Yu et al. (2003) comparam os cultivares de cevada Harrington e Valier em relação ao efeito de degradabilidade. As taxas de degradação de matéria seca e amido foram de 1,85 e 2,50 vezes mais rápidas para Harrington em relação ao Valier, respectivamente. Os resultados mostram que as cevadas Harrington e Valier

são biologicamente diferentes em termos das características de degradação. No entanto, a análise química tradicional não conseguiu detectar tais diferenças biológicas nas características de biodegradação. A química analítica tradicional normalmente detecta um componente específico conhecido através da homogeneização do tecido e separação dos componentes de interesse a partir da matriz complexa. Quando Yu et al. (2003) compararam os dois cultivares usando química analítica tradicional, a composição das duas cevadas não apresentou diferença.

Yu et al. (2004) estudaram as características químicas da matriz ultra estrutural do tecido endospermico dos mesmos cultivares de cevada através de fotomicrografia em seções transversais do tecido de endosperma de cevada. O cultivar Harrington apresentou grânulos maiores de amido que são menos densos na matriz protéica, em relação ao Valier. Também foram realizadas análises de micro espectroscopia por radiação de sincroton infravermelho (SR-FTIR). Este estudo indicou que as cevadas Harrington e Valier diferem química e estruturalmente na matriz do endosperma. A conclusão de Yu et al. (2004) foi que a característica de degradação diferente entre as duas variedades de cevada pode ser devido a diferenças na matriz de amido-proteína do tecido de endosperma.

Foram realizadas análises de microscopia eletrônica de varredura, em um grão de cevada BRS Cauê e BRS Elis, com o intuito de investigar a possibilidade de existências de diferenças estruturais nos grãos, antes e depois do processo de secagem. O grão de cevada antes da secagem foi pego da amostra coletada, após análise de sortimento. O grão de cevada seco foi submetido pela secagem, conforme item 3.4.6 à temperatura de 40 °C. As Figuras 4.7 a 4.10 apresentam as imagens geradas destas análises.

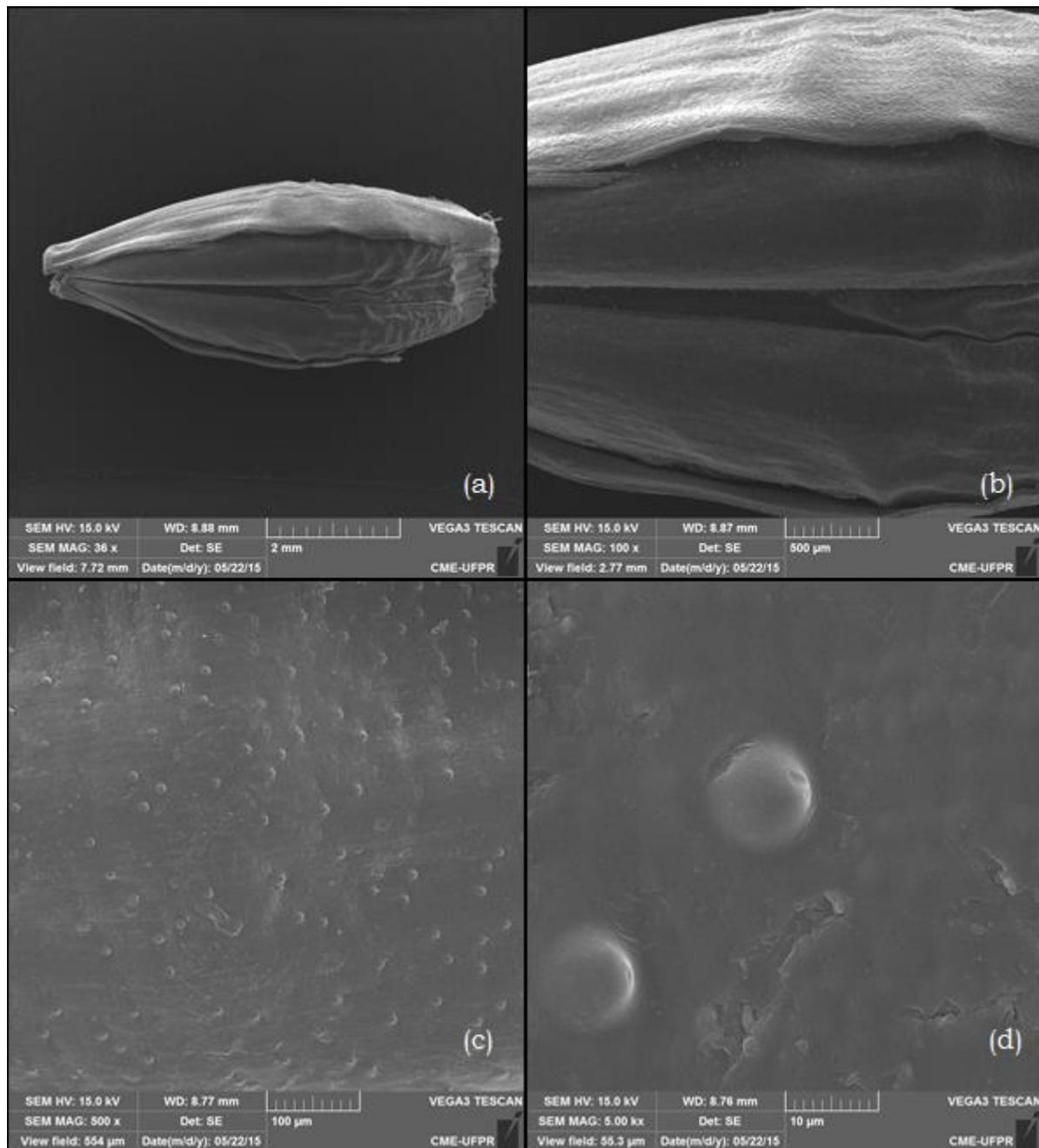


Figura 4.7 Imagens da parte externa do cultivar BRS Elis antes da secagem fornecidas pelo MEV com aumento de (a) 36 vezes; (b) 100 vezes; (c) 500 vezes; (d) 5000 vezes

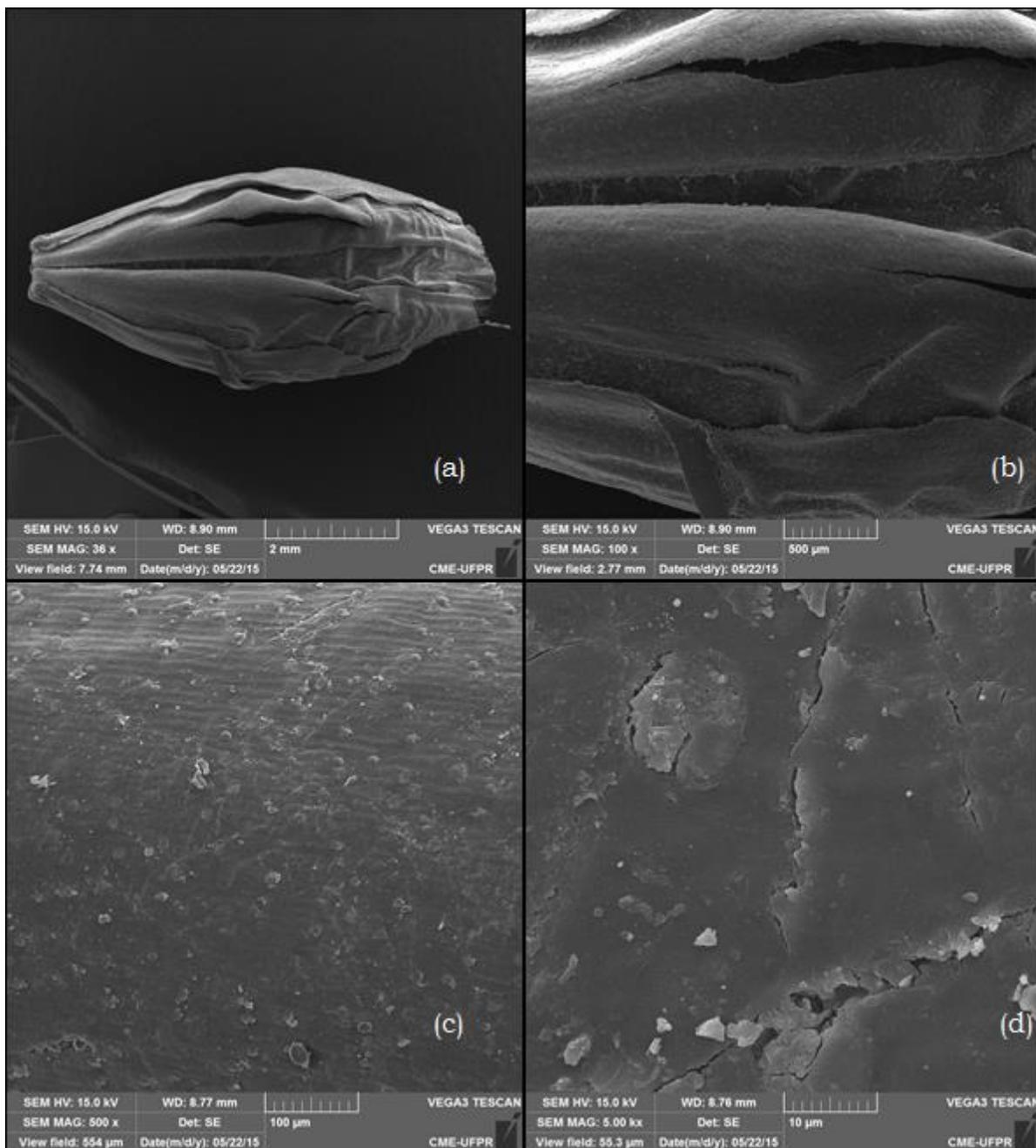


Figura 4.8 Imagens da parte externa do cultivar BRS Elis depois da secagem fornecidas pelo MEV com aumento de (a) 36 vezes; (b) 100 vezes; (c) 500 vezes; (d) 5000 vezes

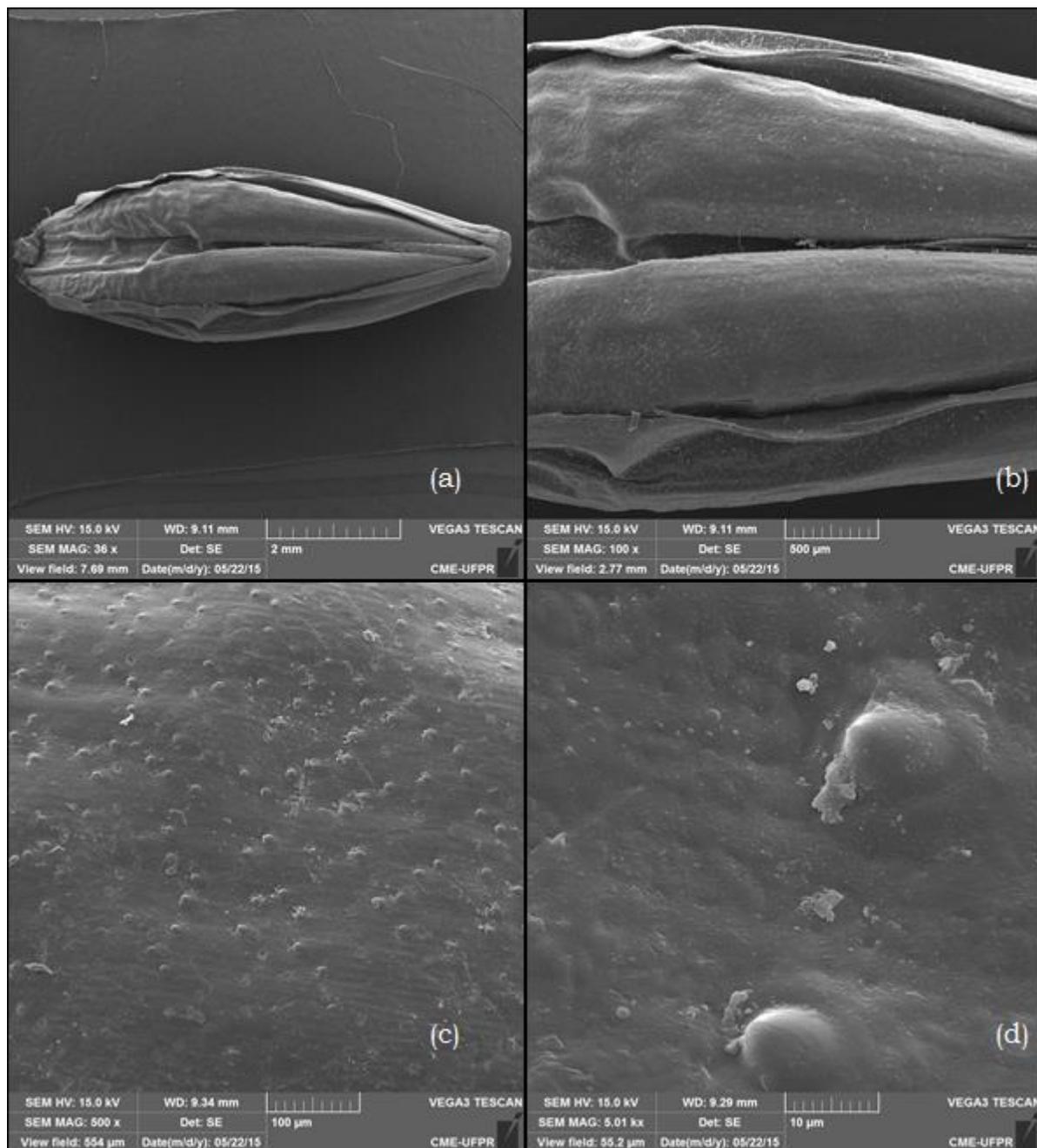


Figura 4.9 Imagens da parte externa do cultivar BRS Cauê antes da secagem fornecidas pelo MEV com aumento de (a) 36 vezes; (b) 100 vezes; (c) 500 vezes; (d) 5000 vezes

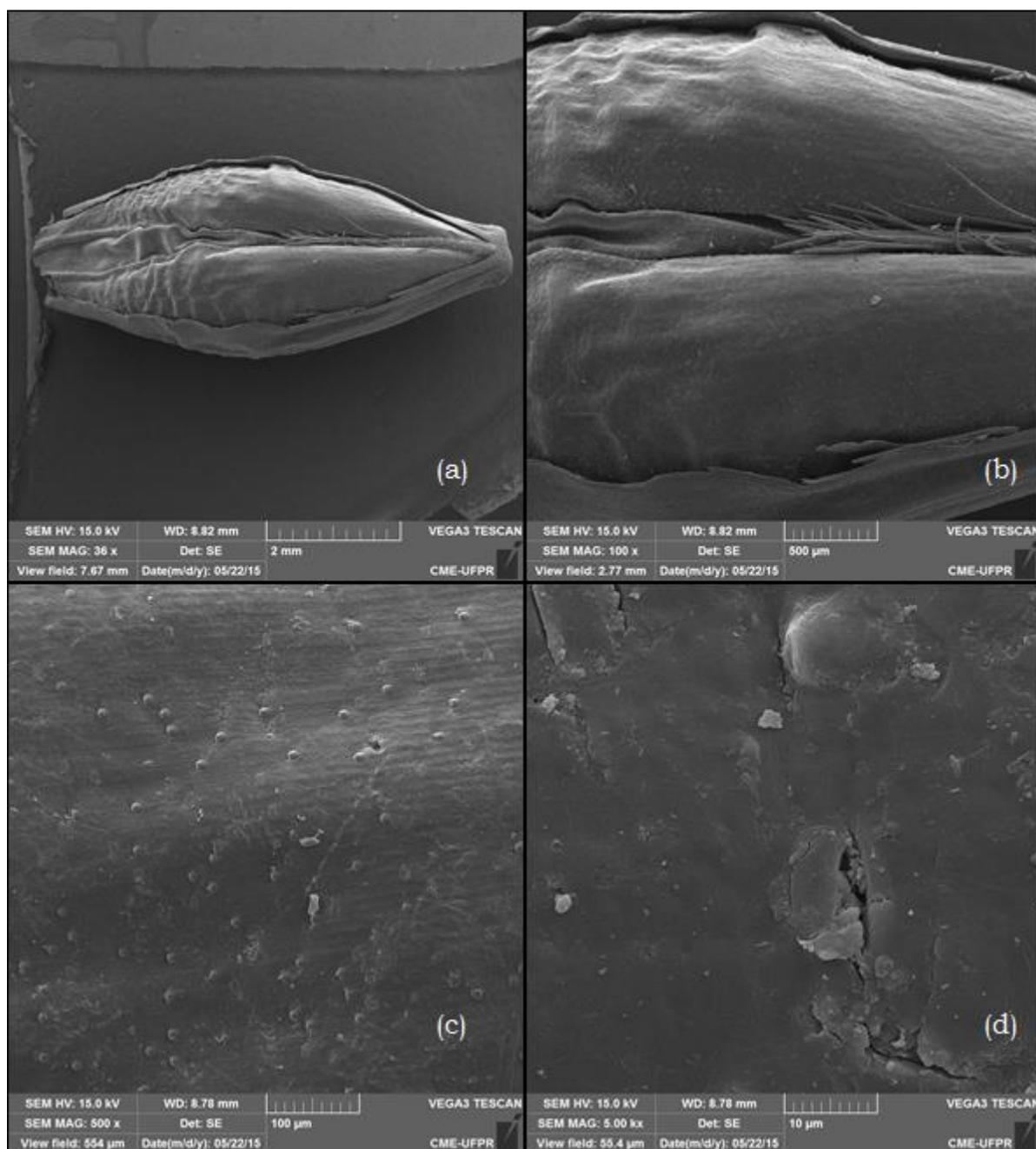


Figura 4.10 Imagens da parte externa do cultivar BRS Cauê depois da secagem fornecidas pelo MEV com aumento de (a) 36 vezes; (b) 100 vezes; (c) 500 vezes; (d) 5000 vezes

Comparando as Figuras 4.7(a) e 4.9(a), é possível observar que o cultivar BRS Elis é menor em comprimento do que o cultivar BRS Cauê. E quando se comparam as Figuras 4.7(b) e 4.9(b), o cultivar BRS Elis é levemente maior em largura.

Comparando as Figuras 4.7(c) e 4.9(c), pode-se perceber que o cultivar BRS Elis apresenta menos nódulos em sua superfície do que o cultivar BRS Cauê. As Figuras (d) trazem uma aproximação a estes nódulos.

Analisando as Figuras 4.7 com 4.8 e 4.9 com 4.10, é possível verificar um grande dano na estrutura externa e nos nódulos, após o processo de secagem, para ambos os cultivares.

Apesar das diferenças de quantidade de proteína, conforme mostrou a Tabela 4.2, não foi possível observar grandes diferenças estruturais entre os cultivares, mesmo antes e após a secagem.

4.4. ANÁLISE DO FENÔMENO DE HISTERESE

As Figuras 4.11 e 4.12 apresentam as médias dos valores de umidade de equilíbrio para os cultivares BRS Cauê e BRS Elis, nas condições de adsorção e dessorção, nas diversas temperaturas de estudo. Não é possível observar diferenças significativas das condições de equilíbrio (adsorção e dessorção) para cada temperatura.

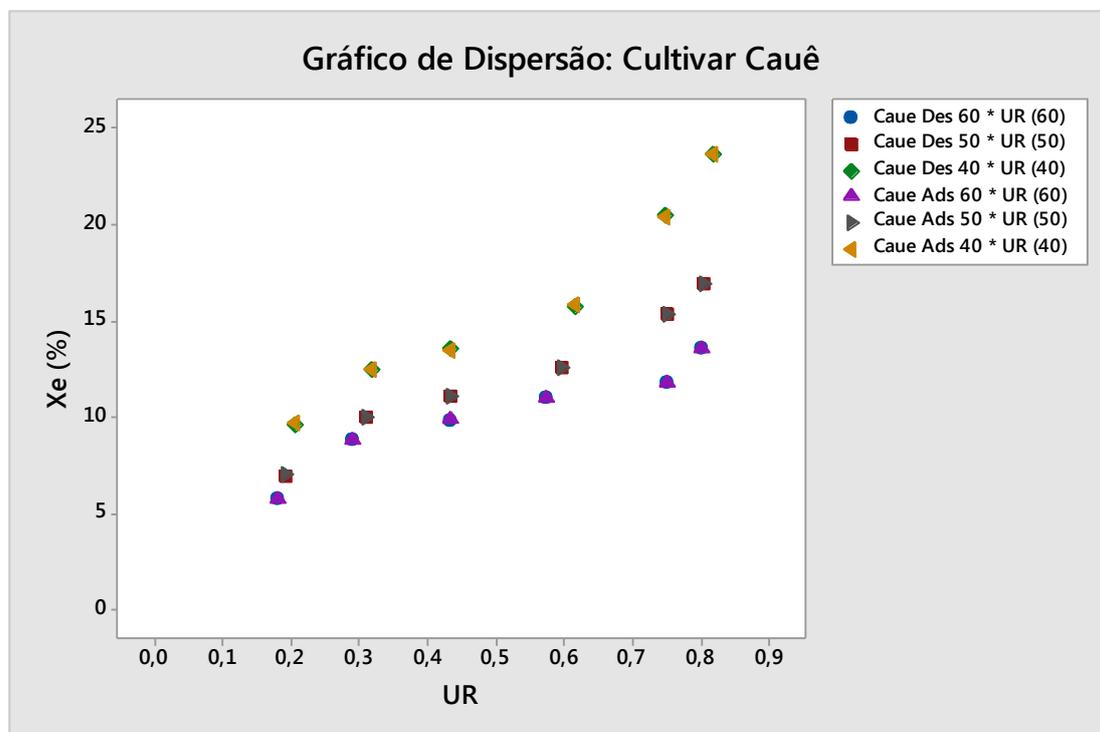


Figura 4.11 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Cauê para as condições de adsorção e dessorção, nas temperaturas de estudo.

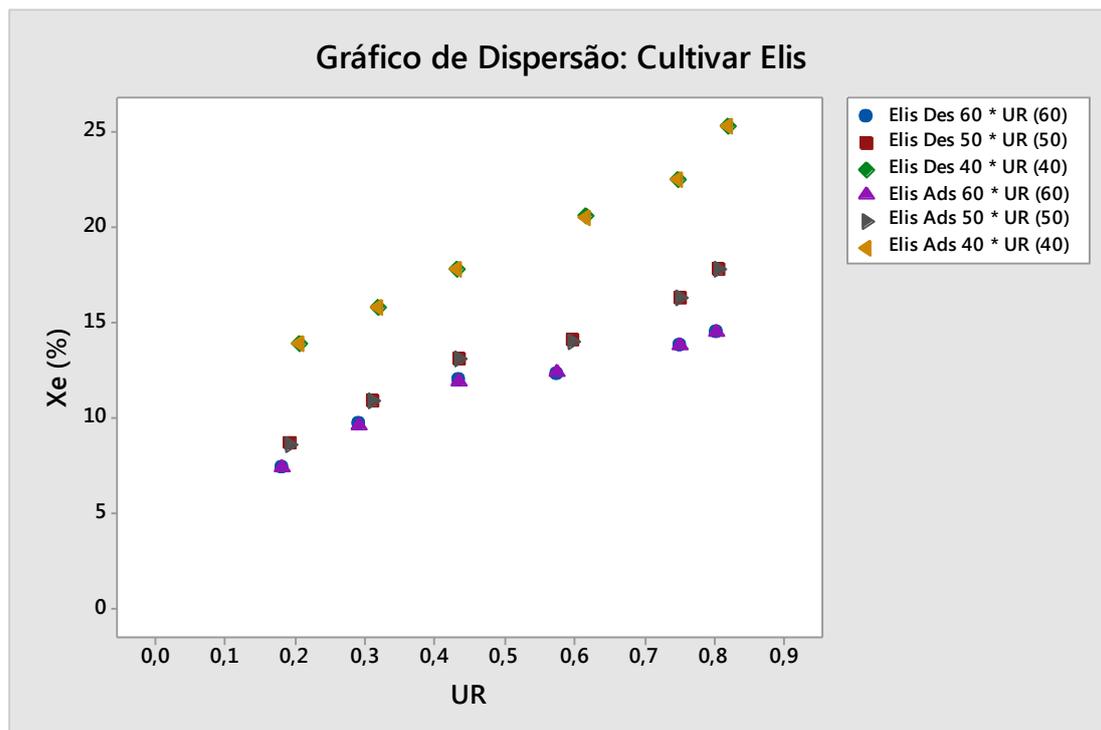


Figura 4.12 Dispersão da umidade de equilíbrio do cultivar BRS Elis para as condições de adsorção e dessorção, nas temperaturas de estudo

4.4.1. Teste de Hipótese: Influência da Condição de Adsorção x Dessorção

Da mesma maneira que o teste de hipótese realizado para entender a influência do cultivar, foi realizado um teste t para avaliar a influência da condição de adsorção/dessorção é ou não significativa na determinação da umidade de equilíbrio. Também foi considerado o nível de confiança igual a 95%, logo o nível de significância (α) é igual a 0,05.

Os valores p foram considerados para determinar a significância estatística em um teste de hipótese, para rejeitar ou não o valor da hipótese nula. Os grupos experimentais eram as condições de adsorção (amostra 1) e dessorção (amostra 2), na mesma temperatura, mesmo cultivar e mesma umidade relativa ambiente fornecida pela solução salina.

Os valores p do teste de hipótese entre condições de adsorção e dessorção estão apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 Valor p entre condições de adsorção e dessorção (Teste t)

Sal	Valor p					
	Adsorção			Dessorção		
	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
CH₃CO₂K	0,555	0,795	0,874	0,725	0,546	0,729
MgCl₂	0,858	1,000	0,975	0,954	0,660	0,936
K₂CO₃	0,137	0,841	0,673	0,898	0,689	0,743
NaNO₂	0,282	0,644	0,184	0,927	0,343	0,664
NaCl	0,861	1,000	0,968	0,765	0,152	0,721
KCl	0,676	0,974	0,929	0,976	0,894	0,619

Como todos os valores p da Tabela 4.6 foram maiores do que o nível de significância ($\alpha = 0,05$), a hipótese nula não deve ser rejeitada, logo não existe nenhuma diferença entre os grupos experimentais no nível da população.

Portanto, estatisticamente, a histerese não pode ser considerada relevante.

Fatores de natureza física e química parecem provocar o fenômeno, que tem sua explicação básica no efeito de condensação de água na estrutura capilar do material. Diversos autores têm estudado a histerese de grãos e cereais e observaram que este fenômeno é influenciado pela estrutura do material, bem como, pelo próprio método de preparação das amostras ou de secagem. Estes parâmetros exercem efeitos significativos na cinética de difusão da água através das diversas camadas do material (PAGLARINI, et al., 2013).

No entanto, Caurie (2007) relata que a histerese pode ser utilizada como índice de qualidade alimentar, uma vez que seu aumento indica redução da estabilidade do alimento; já sua redução ou ausência indica melhor estabilidade dos produtos armazenados. Observou-se também na literatura que vários autores relatam que este fenômeno é mais evidente a baixas temperaturas (DAMODARAN, et al., 2010; YAN et al., 2008).

No trabalho de Aviara et al. (2006), ao serem estudadas isotermas de malte de sorgo a 40 e 50 °C, também não foi possível observar histerese em uma faixa de até 60% de umidade relativa do ambiente.

4.5. ANÁLISE DOS MODELOS DE ISOTERMAS

Pelo fato de que não foi possível observar diferença entre os valores de umidade de equilíbrio para as condições de adsorção e dessorção, neste item serão

discutidos apenas os resultados para a condição de adsorção dos cultivares BRS Cauê e BRS Elis, para as três temperaturas estudadas. Para a condição de dessorção, as informações encontram-se no Apêndice A.

Para o modelo de BET, foram analisados valores de atividade de água inferiores a 50%, como recomendado por Ibarz e Barbosa-Cánovas (2014). Para os demais modelos, foi considerada toda a faixa de atividade de água ou umidade relativa, fornecidas pelas soluções salinas.

A Tabela 4.7 traz os valores dos parâmetros dos modelos, dos coeficientes de determinação (R^2), da soma dos quadrados dos resíduos (SSR), do erro percentual (P) e do erro padrão (S).

Tabela 4.7 Valores dos parâmetros dos modelos, dos coeficientes de determinação (R^2), da soma dos quadrados dos resíduos (SSR), o erro percentual (P) e erro padrão (SE) para a condição de adsorção para os cultivares de BRS Cauê e BRS Elis, para as temperaturas estudadas.

		Cultivar BRS Cauê			Cultivar BRS Elis		
		40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
BET ($a_w < 0.50$)	x_{mB}	7,878	6,316	5,578	9,834	7,339	6,610
	c_B	-455,203	-813,567	-1295,664	-32,204	-966,526	-1196,230
	SSR	1,149	1,455	2,029	0,206	0,316	0,694
	SE	0,088	0,133	0,152	0,062	0,135	0,158
	P	1,586	2,402	3,301	0,502	0,988	1,694
	R^2	0,997	0,995	0,990	1,000	0,999	0,998
Chung e Pfost	A	-7,097	-9,290	-15,491	-23,165	-14,995	-24,961
	B	-0,156	-0,224	-0,317	-0,190	-0,238	-0,317
	SSR	3,146	1,364	3,388	0,565	1,523	3,089
	SE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	P	1,182	1,394	2,692	0,431	1,087	1,917
	R^2	0,998	0,998	0,995	1,000	0,999	0,996
GAB	x_{mG}	9,026	9,825	13,515	14,248	11,936	17,084
	c_G	115,826	17,383	21,854	57,335	21,432	51,887
	k	0,752	0,553	0,194	0,536	0,456	0,080
	SSR	1,977	1,209	1,659	0,751	0,993	0,461
	SE	0,063	0,010	0,048	0,022	0,011	0,026
	R^2	0,999	0,999	0,997	1,000	0,999	0,999
Halsey	A	-508,225	-584,128	-1362,478	-34416,019	-2932,277	-7751,953
	B	2,481	2,787	3,355	3,729	3,290	3,871
	SSR	1,501	2,376	4,614	1,181	2,659	4,450
	SE	0,018	0,061	0,063	0,041	0,057	0,061
	P	1,057	1,774	3,121	0,703	1,427	2,251
	R^2	0,999	0,997	0,993	0,999	0,998	0,995
Henderson	A	-0,002	-0,001	-0,0005	-0,00003	-0,0003	-0,0001
	B	2,245	2,559	3,107	3,414	3,034	3,567
	SSR	4,814	1,272	2,506	0,966	1,044	1,735
	SE	0,094	0,016	0,057	0,038	0,030	0,054
	P	1,656	1,270	2,282	0,500	0,957	1,355
	R^2	0,997	0,999	0,996	1,000	0,999	0,998
Oswin	A	14,668	11,498	9,805	18,517	12,924	11,333
	B	0,304	0,268	0,222	0,201	0,227	0,193
	SSR	2,133	1,411	3,327	0,484	1,495	2,888
	SE	0,064	0,048	0,062	0,018	0,048	0,060
	P	0,935	1,386	2,684	0,409	1,048	1,816
	R^2	0,999	0,999	0,995	1,000	0,999	0,997

A partir de uma análise da Tabela 4.7, os valores dos parâmetros dos modelos de isotermas apresentaram-se distintos, quando comparados os cultivares. Esta observação também pode ser feita em relação à Tabela 4.3, no entanto, na faixa experimental estudada os modelos estatisticamente atenderam os dois cultivares indistintamente.

Em relação aos parâmetros para os dois cultivares, o modelo de Oswin foi o que apresentou menor influência em relação a cultivares, e um comportamento semelhante das constantes A e B em relação às temperaturas.

O modelo BET apresentou a menor soma dos quadrados dos resíduos para as temperaturas de 40 e 50 °C para o cultivar BRS Elis e para o cultivar BRS Cauê à temperatura de 40 °C. No entanto, este modelo apresentou um valor negativo de c_B não esperado, o qual deveria ser maior que o $c_B(\text{GAB})$, que é $c_G \cdot k$, conforme discutido por Timmermann et al (2001). Para qualquer conclusão a respeito desta isoterma, mais pontos experimentais deverão ser conduzidos na faixa de umidade relativa abaixo de 20%.

Os modelos de Chung e Pfof e GAB apresentaram valores baixos de SSR, SE e P, ao representarem os dados experimentais dos dois cultivares. A isoterma GAB apresenta uma estimativa da monocamada, que para o cultivar BRS Cauê se manteve constante nas temperaturas de 40 e 50 °C, sofrendo um acréscimo na temperatura mais alta. No cultivar BRS Elis, a monocamada foi maior, mas não houve uma relação com a temperatura. Portanto, estes resultados mostram que a diminuição da área com aumento da temperatura explicada pelo decréscimo da porosidade, causada pela expansão térmica da matriz sólida não foi significativa nas amostras de cevada analisadas. Outra observação importante necessária é em relação ao k do modelo GAB, que deveria ser próximo e menor que 1, pois está relacionado com a diferença do estado líquido puro do sorvente e nas camadas superiores do sólido. Desta forma, na temperatura mais alta para os dois cultivares a condição não foi atendida. O modelo de Chung e Pfof tem a facilidade do uso de dois parâmetros e tem sido relatado como bom modelo de ajuste para isotermas de cevada, conforme relatado por Basunia e Abe (2005) e Ryniecki et al. (2007).

As Figuras 4.13 a 4.18 apresentam os ajustes dos modelos, juntamente com os valores observados para a condição de adsorção. No Apêndice B, encontram-se as Figuras para os ajustes nas condições de dessorção.

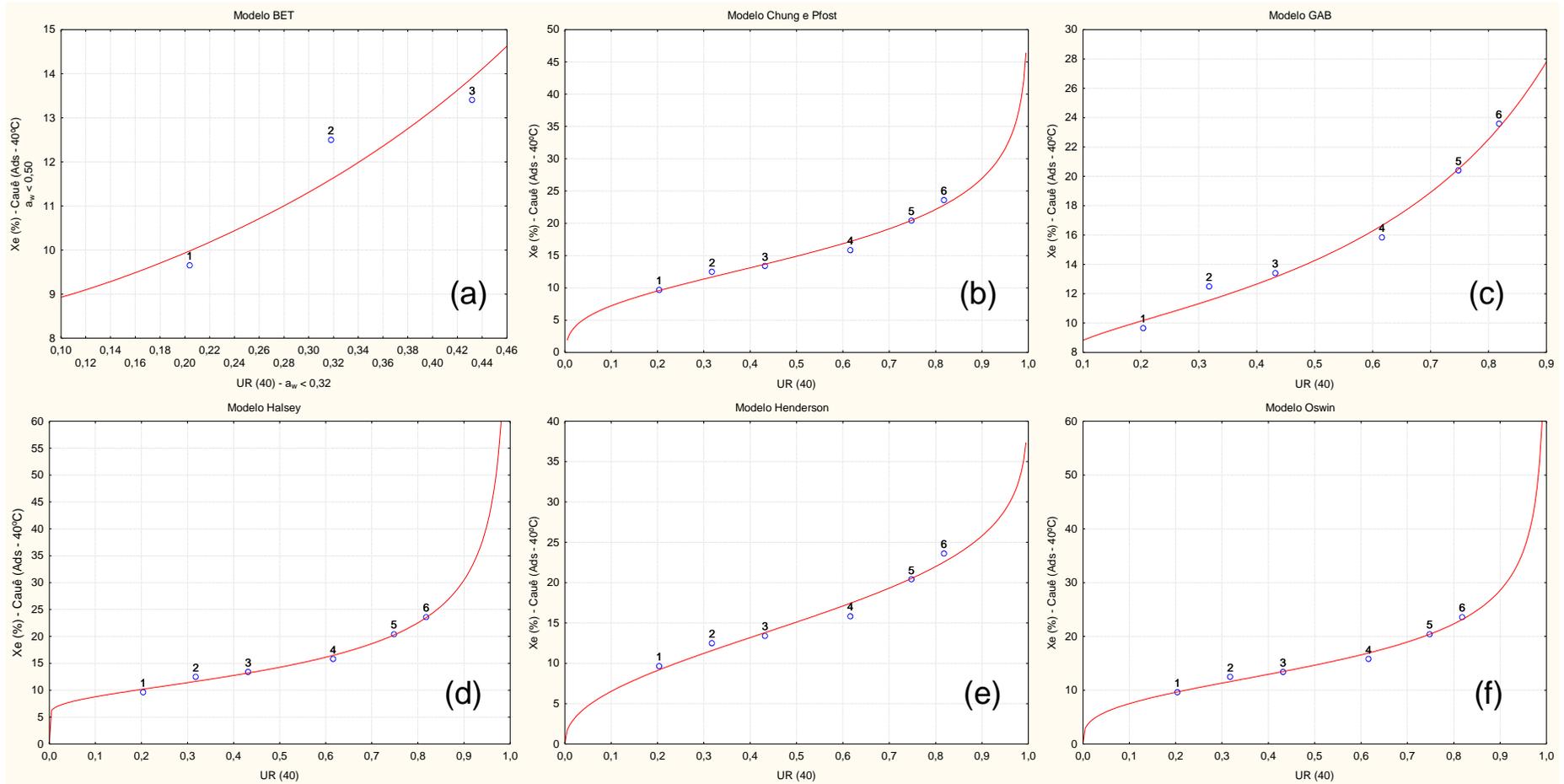


Figura 4.13 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Cauê na temperatura de 40 °C para a condição de Adsorção

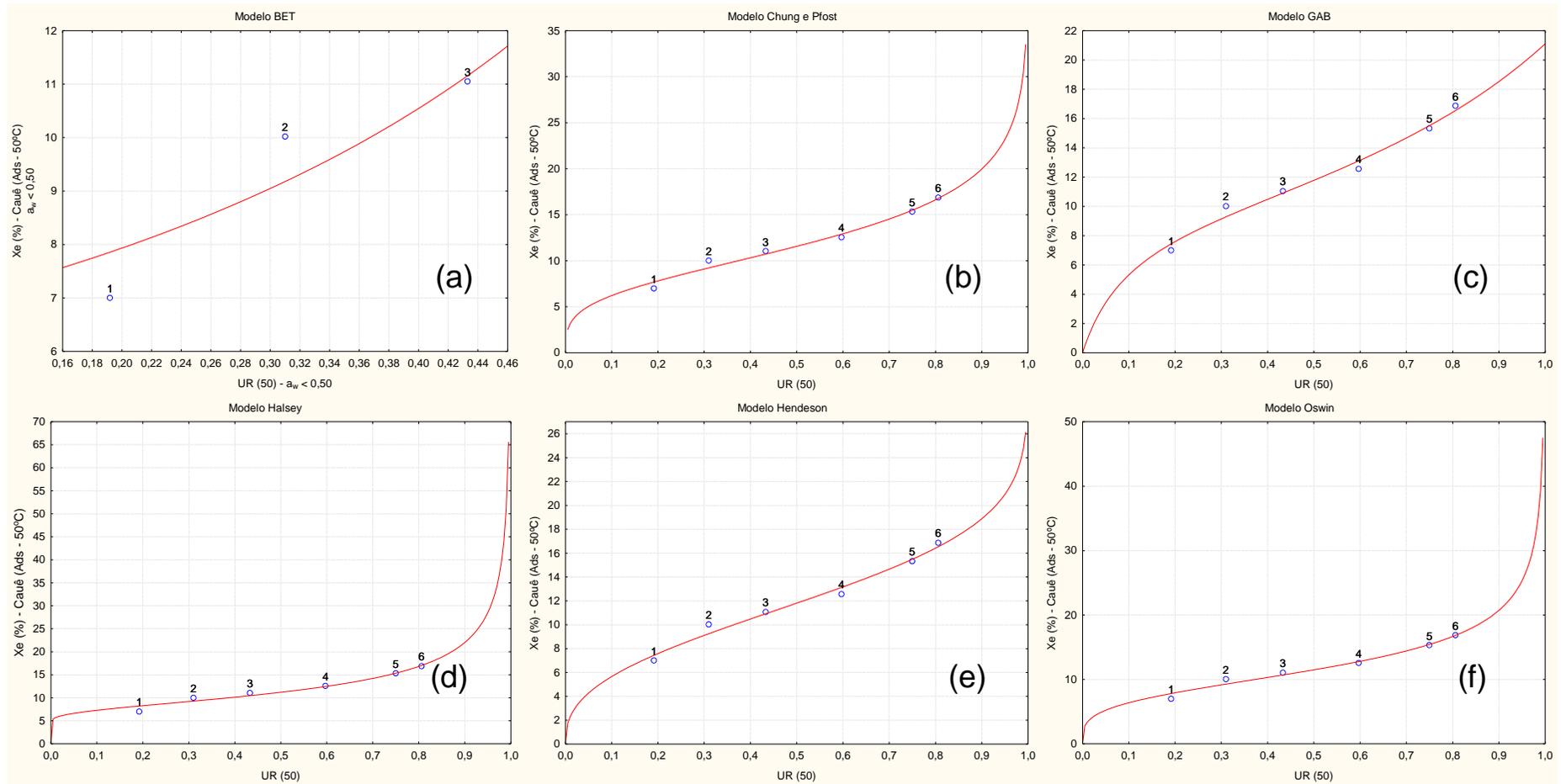


Figura 4.14 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Cauê na temperatura de 50 °C para a condição de Adsorção

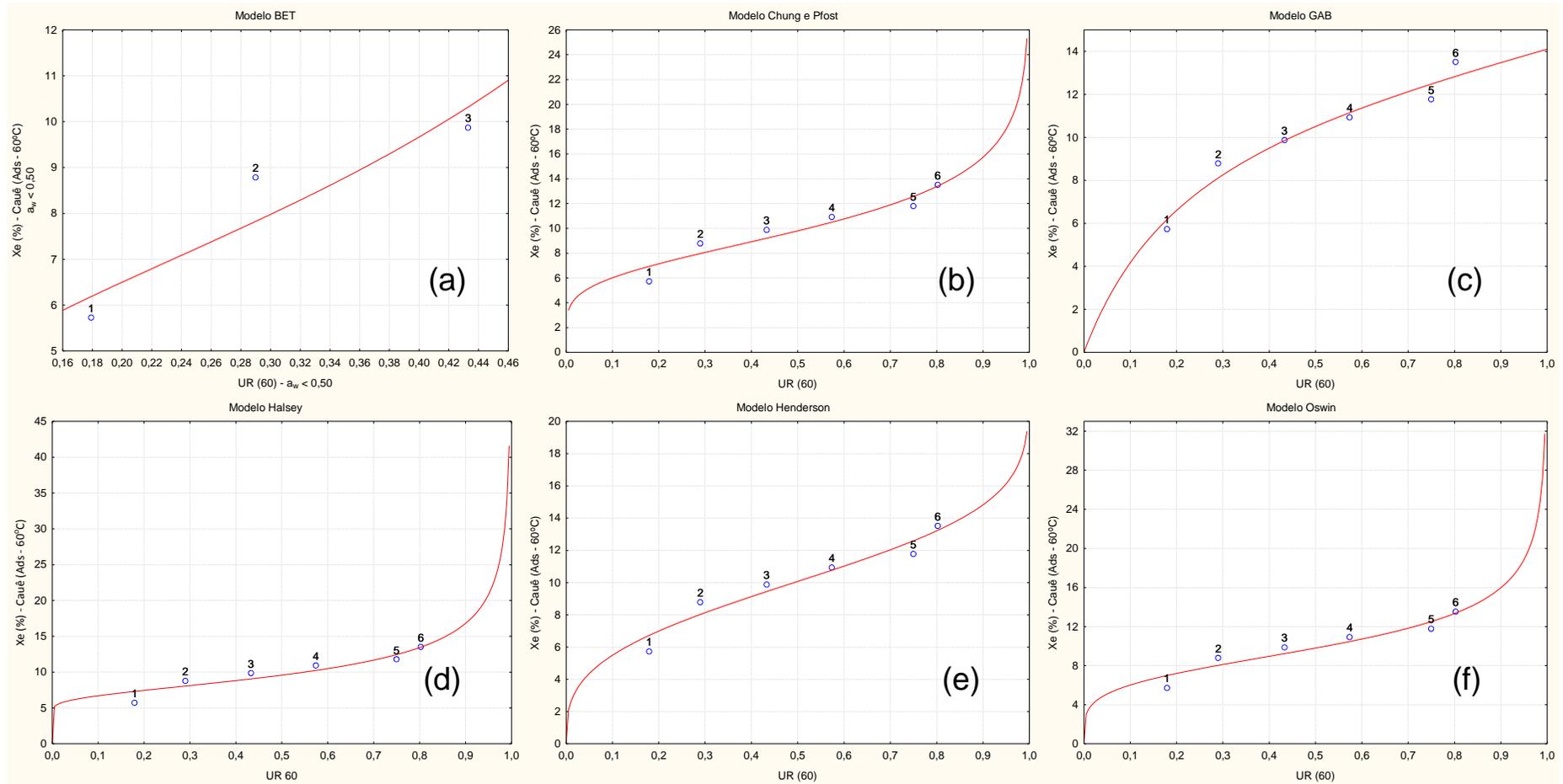


Figura 4.15 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Cauê na temperatura de 60 °C para a condição de Adsorção

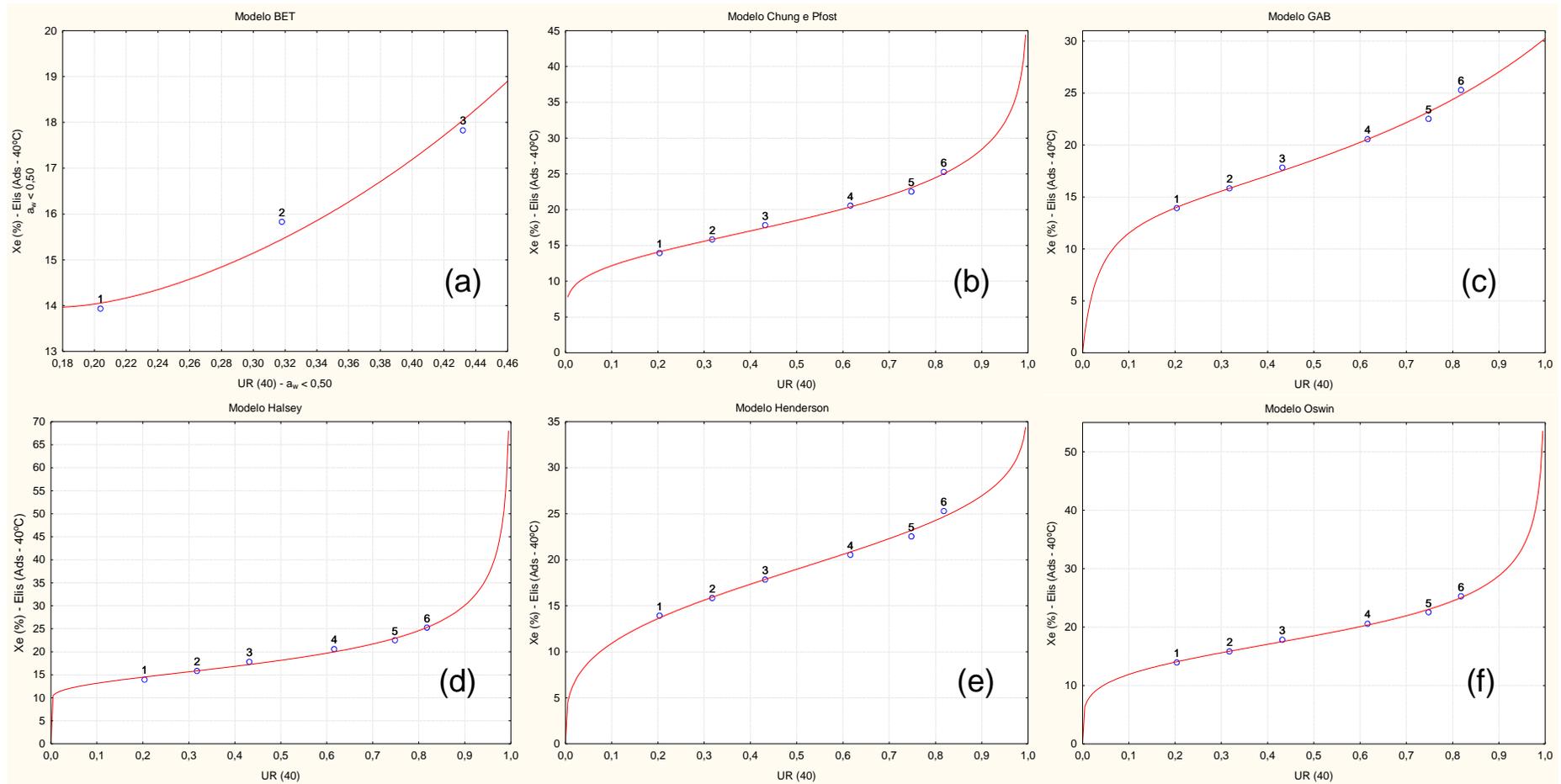


Figura 4.16 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Elis na temperatura de 40 °C para a condição de Adsorção

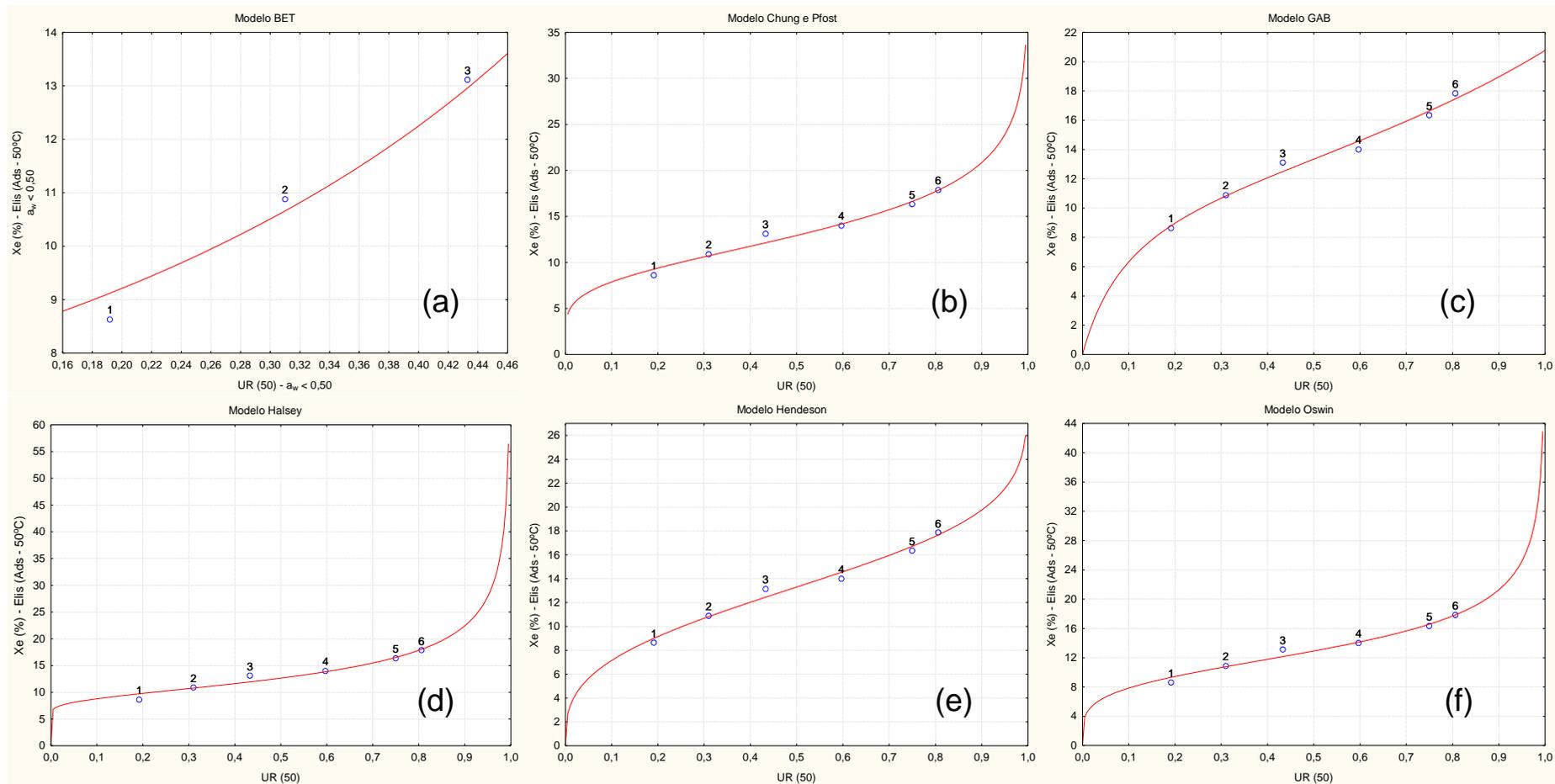


Figura 4.17 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Elis na temperatura de 50 °C para a condição de Adsorção

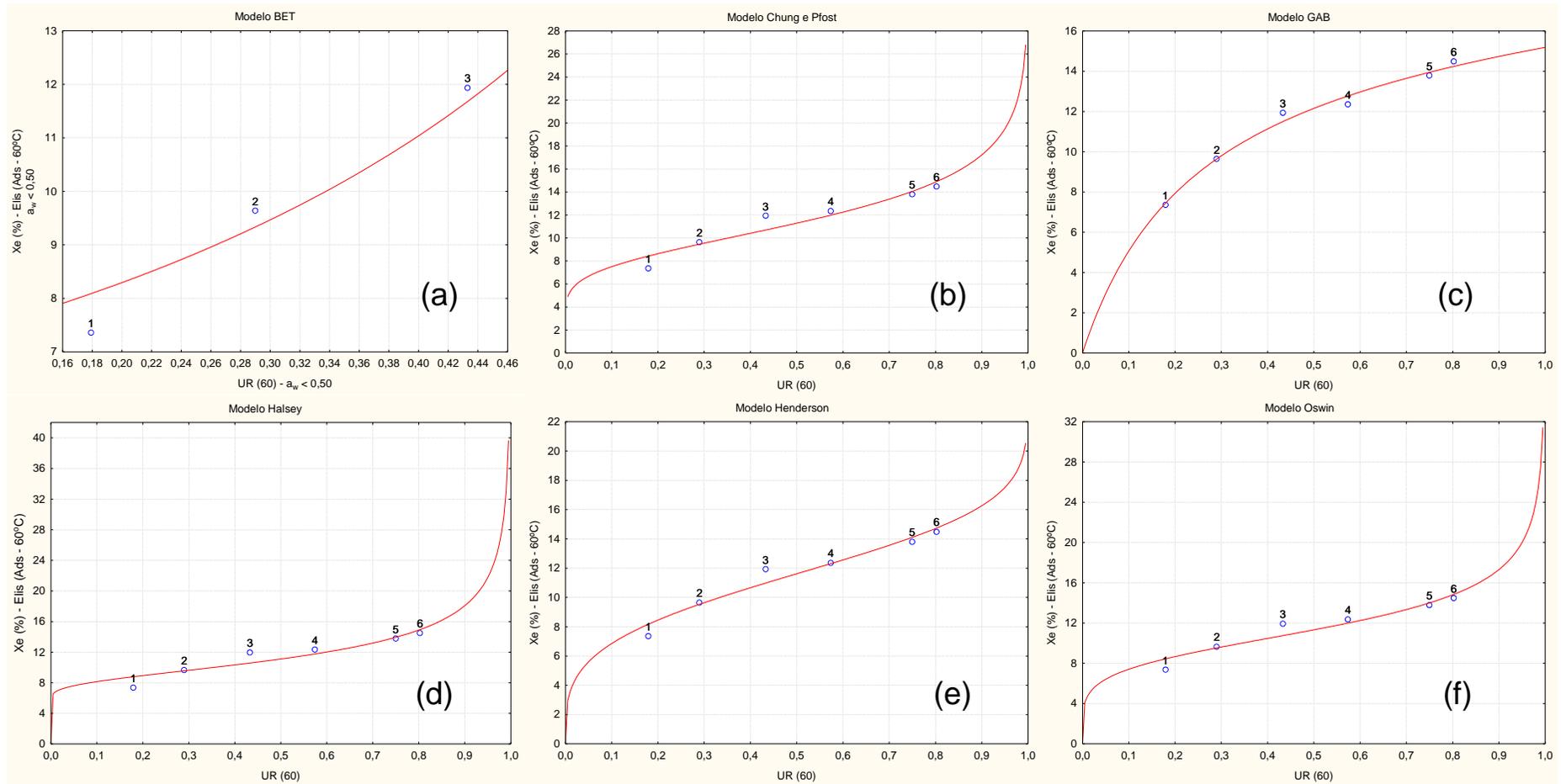


Figura 4.18 Ajustes dos Modelos para o cultivar BRS Elis na temperatura de 60 °C para a condição de Adsorção

Analisando as Figuras 4.13 a 4.18, o modelo de BET não mostrou um comportamento esperado de isotermas de equilíbrio, pois apresentou sua concavidade diferente do esperado. Isso é observado pelo parâmetro c_B , cujo valor é negativo. Apesar de bons ajustes, conforme mostrou a Tabela 4.7, o modelo BET não pode ser considerado um bom modelo para descrever as isotermas de equilíbrio para as cevadas BRS Cauê e BRS Elis.

O modelo GAB para a temperatura de 60 °C para ambos os cultivares apresentou um comportamento assintótico (isoterma tipo I), o que não é o esperado para alimentos. Os demais modelos apresentaram um comportamento semelhante a isoterma do tipo II, conforme o esperado para alimentos.

Tendo em vista que é importante saber quais são as condições de umidade da cevada dentro de um local de armazenamento, os modelos de isotermas ajudam a determinar as condições de umidade relativa do ambiente e temperatura dentro dos silos. A Tabela 4.8 traz as condições de umidade relativa do ambiente e temperatura para garantir a condição de 12% de umidade da cevada para armazenagem, considerada esta a máxima aceitável para o processo.

Tabela 4.8 Condições de umidade relativa do ambiente e temperatura para garantir a condição de 12% (b.s.) de umidade da cevada para armazenagem

Modelo	Cultivar BRS Cauê			Cultivar BRS Elis		
	40°C	50°C	60°C	40°C	50°C	60°C
Chung e Pfof	33,6	53,2	70,9	9,4	42,2	57,3
GAB	35,3	51,5	-	11,6	39,5	-
Oswin	34,1	54,0	71,3	10,4	41,9	57,4

Através da análise da Tabela 4.8, as condições da umidade relativa do ambiente necessárias para garantir a umidade de 12% (b.s.) máxima durante a armazenagem dos cultivares BRS Cauê e BRS Elis para uma mesma temperatura são muito diferentes.

Portanto, quando se desejar garantir condições ótimas para a armazenagem de cevada, deve-se levar em conta o cultivar a ser armazenado, considerando que os cultivares devem ser segregados no momento do armazenamento. Além disso,

para garantir umidades relativas mais baixas da cevada BRS Elis, o processo de aeração torna-se mais frequentemente necessário do que para o cultivar BRS Cauê, o que impacta no orçamento das unidades armazenadoras de grãos.

5. CONCLUSÕES

A partir da determinação das isotermas de sorção de umidade, através do método estático, com uso de soluções salinas saturadas, e de ensaios de secagem em secador industrial, as seguintes conclusões foram obtidas:

- i. As análises físico-químicas e fisiológicas nos cultivares de cevada foram importantes para caracterizar comportamentos essenciais para início do processo de classificação da cevada cervejeira. No que se referem aos parâmetros das análises físico-químicas e fisiológicas dos cultivares estudados, de maneira geral não ocorreu grandes variações nos teores encontrados, com exceção para o teor de proteína que variou de 8,8 a 11,1 respectivamente para BRS Elis e BRS Cauê. A deficiência apresentada pelo cultivar BRS Elis na quantidade de proteína deverá ser suprida através um processo de *blendagem* com outro lote de cevada, para compensar esta defasagem.
- ii. Não foi possível observar diferenças entre os cultivares de cevada através da análise de MEV.
- iii. Os valores das umidades de equilíbrio do cultivar BRS Elis apresentaram-se superiores quando comparados aos cultivar BRS Cauê, em todas as condições estudadas.
- iv. Dos modelos estudados de isotermas de equilíbrio, o modelo Chung e Pfof foi o que melhor descreveu os dados experimentais, apresentando um erro padrão de 0,000 em todas as condições estudadas, uma faixa de erro percentual de 0,431 a 2,692 e uma faixa da soma dos quadrados dos resíduos de 0,565 a 3,388. Os modelos GAB e Oswin também apresentaram bons ajustes dos dados experimentais. O modelo BET não apresentou um bom ajuste, devido ao comportamento da curva ajustada aos pontos, para a faixa de $a_w < 0,5$. Seriam necessários mais pontos para melhorar o ajuste.
- v. A determinação da umidade de equilíbrio trouxe previsibilidade e potencial de economia para o processo de armazenagem, pois é possível prever necessidade de aeração de silos, o que impacta diretamente no consumo de energia e orçamento das unidades armazenadoras. Ou seja, quando se sabe a condição de equilíbrio desejada no armazenamento de grãos de cevada, é

possível estimar quais são as condições que o silo deve atingir de umidade relativa do ambiente e temperatura, através do uso dos modelos estudados e comportamentos das curvas ajustadas. O cultivar BRS Elis apresentou necessidade de umidade relativa ambiente menor do que o cultivar BRS Cauê, o que pode acarretar a custos operacionais maiores para assegurar a condição ideal de armazenamento (umidade inferior a 12% em base seca).

- vi. Quando estudada a secagem industrial, os cultivares de cevada obtiveram desempenhos diferentes, sendo que estavam com a condição da umidade de entrada do secador próxima. O cultivar BRS Elis precisou de mais energia para sua secagem. Logo, espera-se gastar mais energia na secagem deste cultivar, para garantir o processo de armazenamento adequado e início da malteação, quando comparado com o cultivar BRS Cauê.
- vii. Com esta dissertação, foi possível observar a real diferença entre os cultivares estudados de cevada, BRS Cauê e BRS Elis e a importância da determinação da umidade de equilíbrio para os processos de armazenagem, bem como buscar entender as diferenças nos processos de secagem para os diferentes cultivares trabalhados. Muitas são as dificuldades das unidades armazenadoras em assegurar condições ótimas de processo, quando se trabalham com cultivares diferentes, porém com estudos mais aprofundados, é possível tornar os processos mais previsíveis e econômicos, trazendo mais competitividade aos negócios, com a diminuição de custos e aumento de margem.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para poder evidenciar diferenças morfológicas entre os cultivares através da análise de MEV, sugere-se em trabalhos futuros fazer a extração do amido, proteína e enzimas para análise.

Para poder utilizar o modelo BET para ajustes de isotermas de cevada, sugere-se em trabalhos futuros trabalhar com mais soluções salinas que forneçam umidade relativa ambiente menor do 50%.

6. REFERÊNCIAS

AACC International. Method of determination of falling number. Método 56-81.03. 1999.

ALAM, A., SHOVE, G. C. Hygroscopic and thermal properties of soybeans. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 16:707. 1973

AMAN, P; NEWMAN, W. Chemical composition of some different types of barley grown in Montana, U.S.A. **Journal of Cereal Science**, v. 4, p. 133-141. 1986.

ARRUDA, E. B. Comparação do desempenho do secador roto-fluidizado com o secador rotatório convencional: secagem de fertilizantes. Tese de doutorado em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2008.

AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O.; AREGBESOLA, O. A.; ADEDEJI, M.A. Moisture sorption isotherms of sorghum malt at 40 and 50°C. **Journal of Stored Products Research**, 42, 290–30. 2006.

BARREIRO, J. A., FERNANDEZ, S., SANDOVAL, A. J. Water sorption characteristics of six rowbarley malt (*Hordeum vulgare*). **Lebensm.-Wiss. U.-Technol.**, 36, 37–42. 2003.

BARROZO, M. A. S.; SARTORI, D. J. M.; FREIRE, J. T., Transferência de calor e massa em leito deslizante e escoamentos cruzados: secagem de sementes de soja. In: FREIRE, J. T.; SILVEIRA, A. M. **Tópicos Especiais em Sistemas Particulados**. São Carlos, v. 4, ed. UFSCar, p. 119-159, 1998.

BASU S., SHIVHARE U. S., MUJUMDAR A. S. Models for sorption isotherms for foods: A review. **Dry Technol.** 24 (8): 917-930. 2006.

BASUNIA, M. A.; ABE, T., Adsorption isotherms of barley at low and high temperatures. **Journal of Food Engineering.** 66, 126-136, 2005.

BEST, S., MULLER, R. Use of the hagberg falling number apparatus to determine malt and barley quality. **Journal of the Institute of Brewing**, Vol. 97, pp. 273-278. Julho-Agosto, 1991.

BILIADERIS, C. G. Thermal analysis of foods. **Elsevier Applied Science**. London – UR. 168-220. 1990.

BLAHOVEC, J., YANNIOTIS, S. Modified classification of sorption isotherms. **J Food Eng.** 91 (1): 72-77. 2009.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Denominação de cultivares, 2013a. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/protecao-cultivares/denominacao-cultivares>> - Acessado dia 10/02/2014.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cultivares protegidas. 2013b. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/protecao-cultivares/cultivares-protegidas>> - Acessado dia 10/02/2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, DF. 365p. 1992.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria 691/1996. 1996.

BRASIL 247. < <http://www.brasil247.com/pt/247/agro/166068/Safra-fecha-2014-com-produ%C3%A7%C3%A3o-recorde-de-gr%C3%A3os.htm>> . 2015.

BRENNAN, C. S., HARRIS, N., SMITH, D., SHEWRY, P. R. Structural differences in the mature endosperms of good and poor malting barley cultivars. **Journal of Cereal Science**, v. 24, p.171-177.1996.

BRIGGS, D. E., HOUGE, J. S., STEVENS, R., YOUNG, T. W. Malting and brewing science, **Volume I Malt and Sweet Wort**, Great Britian, UK, 1981.

BRUNAUER, S., DEMING, L. S., DEMING, E., TELLER, E. Theory of the van der Waals adsorption of gases. **Journal Am Chem Soc.** Jul; 62 (7): 1723-1732. 1940.

CAL-VIDAL, J. Potencial Higroscópico como Índice de Estabilidade de Grãos e Cereais Desidratados. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, 17W: 61-76, jan. 1982.

CAURIE, M. Hysteresis phenomenon in foods. **International Journal of Food Science and Technology**, v.42, p.45–49, 2007.

CHUNG, D. S., PFOST, H. B. Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, 10(4), 552-575, 1967.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Cevada em Números. 2014

COSTA, D. M. Estudo da secagem infravermelho de sementes de girassol. Dissertação de mestrado de pós-graduação em engenharia de processos. Universidade Tiradentes. Aracajú – SE. 2010.

CRUZ, G. V., TORRES, J. A., MARTÍN-POLO, M. O. Temperature effect on the moisture sorption isotherms for methylcellulose and ethylcellulose films. **Journal of Food Engineering**, 48, 91-94. 2001.

DAMODARAN, S., PARKIN, K. L., FENNEMA, O. R. Química de alimentos de Fennema. 4.ed., Porto Alegre: Artmed, 900p. 2010.

EMBRAPA TRIGO. A cevada no Brasil. Documentos Online Nº 139. Passo Fundo, RS. Outubro, 2012.

EMBRAPA TRIGO. BRS Cevada Cauê, Tipo agrônômico, alto potencial de rendimento e qualidade de malte. 2013a.

EMBRAPA TRIGO. BRS cevada Elis, tipo agrônômico, alto potencial de rendimento e qualidade de malte. 2013b.

EMBRAPA TRIGO. Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira nas safras 2013 e 2014, editado por Euclides Minella, **XXIX Reunião Nacional de Pesquisa de Cevada**, Passo Fundo, RS, 2013c.

EMBRAPA TRIGO. Produtores de sementes de cevada licenciados pela Embrapa para safra 2014. 2014.

EVANGELISTA, R. R. Análise do processo de fabricação industrial de cerveja. Trabalho de graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de Araçatuba do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Araçatuba, 2012.

FOX, G. P., ONLEY-WATSON, K., & OSMAN, A. Multiple linear regression calibrations for barley and malt protein based on the spectra of hordein. *Journal of the Institute of Brewing*, 108, 155–159. 2002.

GARCIA-ALVARADO, M. A., DE LA CRUZ-MEDINA, J., WALISZEWSKI-KUBIAC, K. N., SALGADO-CERVANTES, M. A. Statistical analysis of the GAB and Henderson equations for sorption isotherms of foods. **Drying Technology**, 13(8&9), 2141-2152, 1995.

GROSSMAN, Ken. *Beyond the pale: the story of sierra nevada brewing Co*, 2013.

GUSTAFSON, R. J., HALL, G. E. Equilibrium moisture content of shelled corn from 50°F to 155°F. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 17:120. 1974

HALSEY, G. Physical adsorption on non-uniform surfaces. **J. Chem. Phys.**, 16: 931-937. 1948.

HENDERSON, S. M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, 33(1), 29-32, 1952.

HOUGH, J. S. The biotechnology of malting and brewing, **Cambridge series in Biotechnology**, Cambridge University Press, 1996.

IBARZ, A., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Introduction of food process engineering. CRC Press, capítulo 9, pg 154-159. 2014.

KUNZE, Wolfgang. Technology brewing and malting. 2. ed. Berlin: Vlb Berlin, 1999.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; KECHAOU, N. Experimental study and modelling of adsorption and desorption isotherms of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, 55, 201-207. 2002.

LEVENBERG, K. A Method for the solution of certain non-linear problems in least squares. **The Quarterly of Applied Mathematics**, 2: 164-168. 1944.

LEHN, D. N., PINTO, L. A. A., Isotermas de equilíbrio e curvas de secagem para arroz em casca em silos de armazenagem, **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.12, n.3, 177-191, Jul./Set., 2004.

LI, J. H. VASANTHAN. T., HOOVER R., ROSSNAGEL, B. G. **Food Research Institute**. 37:417. 2004.

MANZATTO, C. V., FREITAS JUNIOR, E., PERES, J. R. R. de. Uso agrícola dos solos. Embrapa Solos. Rio de Janeiro. 2002.

MARINOS-KOURIS, D., MAROULIS, Z. B. Transport properties in the drying of solids in "Handbook of Industrial Drying", 2^a Ed., A. S. Mujumdar, 1995.

MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics**, 11(2):431-441. 1963.

MATHLOUTHI, M., ROGÉ, B. Water vapor sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chem**. 2003 Jul; 82 (1): 61-71.

McDONALD, M. L., STARK J. R. J. **Instituit Brew**. 94:125. 1994.

MINELLA, E. Contribuições do programa melhoramento genético de cevada da Embrapa Trigo à produção brasileira. 2012. Disponível em <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/noticias/?q=29549>>. Acessado dia 31/01/2014.

MOREIRA, M. F. P. Secagem em gel ágar. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Paulo. 2000.

MORSI, M. K. S., STERLING, C. **Carbohydr Reseach**. 3:97. 1960.

MUJUMDAR, A. S. Handbook of industrial drying. New York, 1995.

JUNIOR, S. N., NOGUEIRA, E. A. Centrais regionais de armazenagem como apoio a comercialização de grãos. *Informações econômicas*. 37:7, 27-32. 2007.

NOHEL, F. Elaboração de malte de cevada cervejeira. Centro de Tecnologia de Alimentos e Bebidas - SENAI, Vassouras, Rio de Janeiro, 2012.

OSCARSSON, M; ANDERSSON, R.; SALMONSSON, C; ÅMAN, P. Chemical composition of barley samples focusing on dietary fiber components. **Journal of Cereal Science**, v. 24, p. 161-169. 1995.

OSTERGAARD, O., MELCHIOR, S., ROEPSTORFF, P., & SVENSSON, B. Initial proteome analysis of mature barley seeds and malt. **Proteomics**, 2, 733–739. 2002.

PAGLARINI, C. S., SILVA, F. S., PORTO, A. G., PIASSON, D., SANTOS, P. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.17, n.3, p.299–305, 2013

PALMER, G.H. Malt performance is more related to inhomogeneity of protein and – glucan breakdown than to Standard Malt Analyses. **Journal of The Institute of Brewing**, v. 106. p. 189-192. 1989.

PERRY, R. H., CHILTON, C. H. Chemical engineer's handbook. McGraw-Hill Book Co., New York. 1973.

PORTO, P. D. Tecnologia de fabricação de malte: uma revisão. Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PORPINO, K. K. P. Biossorção de ferro (II) por casca de caranguejo *Ucides Cordatus*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 2009.

QUINDE, Z., ULLRICH, S. E., BAIK, B. K. Genotypic variation in colour and discolouration potential of barley - based food products. **Cereal Chemistry**, v. 81, p. 752–758, 2004.

RESENDE, A. C. Conceção, modelagem e simulação de um secador de pão moído. Dissertação de Mestrado da Universidade de Aveiro. 2012.

RYNIECKI, A., GAWRYSIAK-WITULSKA, M., WAWRZYNIAK, J. Correlation for the automatic identification of drying endpoint in near-ambient dryers: Application to malting barley. *Biosystems Engineering*. Volume 98, Issue 4, Pages 437–445. December, 2007.

SANDHU, K. S., KAUR, M., SINGH, N., LIM, S.T. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 1000–1010, 2004.

SANTOS, A. P., PEIXOTO, A. V., ASCHERI, D. P. R. Curvas de secagem e caracterização de hidrolisados de bagaço de cevada (*Hordeum vulgare*). 2014.

SANTOS, I. J., COUTO, S. M. Efeito da temperatura de secagem nas atividades de alfa e beta-amilase durante o processo de malteação de cevada (*Hordeum vulgare*) para produção de cerveja. Universidade Federal de Viçosa, 1999.

SEID, R. M., HENSEL, O. Experimental Evaluation of Sorption Isotherms of Chili Pepper: an Ethiopian Variety, Mareko Fana (*Capsicum annum* L.). **Agric Eng Int: CIGR Journal Open**, access at <http://www.cigrjournal.org> Vol. 14, No.4 163, December, 2012.

SILVA, D. B. D., WETZE L, M. V., GOEDERT, C. O., AMABILE, R. F. Intercambio e conservação de germoplasma de cevada a longo prazo no Brasil. **Magistra** , v. 19, n. 4, p. 399-403, 2007.

SILVA, F., NOGUEIRA, L. C., GONÇALVES, C., FERREIRA, A. A., FERREIRA, I. M. P. L. V. O., TEIXEIRA, N. Electrophoretic and HPLC methods for comparative study of the protein fractions of malts, worts and beers produced from Scarlett and Prestige barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties; **Food Chemistry** 106, 820–829. 2008.

SONG, Y., JANE, J. Characterization of barley starches from waxy, normal and high amylose varieties. **Carbohydr. Polym.** 41:365. 2000.

SUN, D., WOODS, L. J. Low temperatures moisture transfer characteristics of barley: thin-layer models and equilibrium isotherms. **J. Agric. Engng. Res:** 59, 273-283. 1994.

TALLA, A. Experimental Determination and Modelling of the Sorption Isotherms of Kilishi. **British Journal of Applied Science & Technology**, 2(4): 379-389, 2012.

TANG, H., WATANABE, K., MITSUNAGA, T. Caracterização de amidos de armazenamento fromquinoa, cevada e sementes de adzuki. **Carbohydr Polym.** 49:217. 2002.

TANG, H., ANDO, H., WATANABE, K., TAKEDA, Y., MITSUNAGA, T. Physicochemical properties and structure of large, medium and small granule starches in fractions of normal barley endosperm. **Carbohydr Reseach**. 230:241. 2001.

TANG, H; ANDO, H.; WATANABE, K. Some physicochemical properties of small, medium and large-granule starches in fractions of waxy barley grain. **Cereal Chemistry**, St Paul, v. 77, n. 1, p. 27-31. 2000.

THYS, R. C. S.; NOREÑA, C. P. Z.; MARCZAK, L. D. F.; AIRES, A. G.; CLADERA-OLIVERA, F. Adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch and thermodynamic analysis. **Journal of Food Engineering**, 100, 468–473. 2010

TIMMERMANN, E. O., CHIRIFE, J., IGLESIAS, H. A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? **Journal of Food Engineering** 48, 19-31, 2001.

TSCHOPE, E. C. A malteação da cevada. 1999.

TUNES, L. M. B; OLIVO, P.G.; BARROS, F.; ALBUQUERQUE, A.C.S; Tratamentos para a superação da dormência em sementes de cevada; **Scientia Agraria**, v.10, n.1, p. 15-21, 2009.

VASANTHAN, T., BHATTY, R. S. **Cereal Chemistry**. 73:199. 1996.

WADUGE, R. N., HOOVER, R., VASANTHAN, T., GAO, J., LI, J. **Food Reseach Institute**. 39:59. 2001.

WATSON, L. Estuary de moray malting. 1998.

WOLF, W., SPIESS, W.E.L., JUNG, G. In D. Simatos & J.L. Multon, Standardization of isotherms measurements. Properties of water in foods in relation to food quality and stability (pp 661-679). Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers. 1985.

YAN, Z. SOUSA-GALLAGHER, M. J., OLIVEIRA, F. A. R. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. **Journal of Food Engineering**, v.86, p.342–348, 2008.

YU. P., CHRISTENSEN, D. A., ROSSNAGEL, B. G., MCKINNON, J. J. Use of NRC-2001 model and DVE/OEB System to evaluate nutritive values of harrington and valier barley for ruminants. **Animal Feed Science Technology**. 107-45:60. 2003

YU. P., CHRISTENSEN, D. A., CHRISTENSEN, C. R., DREW, D., ROSSNAGEL, B. G., MCKINNON, J. J. Use of synchrotron FTIR microspectroscopy to identify chemical differences in barley endosperm tissue in relation to rumen degradation characteristics. **Canadian Journal of Animal Science**. 523:527, 2004.

ZSCHOERPER, O. P. Curso cervejeiro e malteador - AMBEV. Porto Alegre - RS. 2009.

APÊNCIDE A

Tabela A.1 Valores dos parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), da soma dos quadrados dos resíduos (SSR), o erro percentual (P) e erro padrão (SE) dos modelos para as temperaturas de 40, 50 e 60°C para o cultivar Cauê na condição de Dessorção.

Modelo		40°C	50°C	60°C
BET ($a_w < 0.50$)	X_{mB}	7,909	6,311	5,565
	C_B	-399,626	-837,947	-1272,465
	SSR	1,019	1,533	1,994
	SE	0,039	0,138	0,146
	P	1,554	2,460	3,248
	R^2	0,998	0,994	0,990
	Chung e Pfost	A	-7,077	-9,201
B		-0,156	-0,223	-0,3173
SSR		3,368	1,421	3,367
SE		0,000	0,000	0,000
P		1,130	1,425	2,682
R^2		0,998	0,998	0,995
GAB	X_{mG}	9,071	9,826	13,668
	C_G	101,786	17,383	22,268
	k	0,750	0,553	0,187
	SSR	2,276	1,224	1,598
	SE	0,065	0,015	0,047
	P	1,316	1,268	1,555
	R^2	0,999	0,999	0,998
Halsey	A	-505,691	-574,335	-1381,701
	B	2,479	2,780	3,360
	SSR	1,746	2,512	4,613
	SE	0,018	0,062	0,064
	P	1,177	1,843	3,112
	R^2	0,999	0,997	0,993
Henderson	A	-0,002	-0,001	-0,0005
	B	2,243	2,551	3,109
	SSR	5,023	1,288	2,466
	SE	0,093	0,022	0,057
	P	1,603	1,301	2,273
	R^2	0,997	0,999	0,996
Oswin	A	14,679	11,495	9,808
	B	0,304	0,269	0,222
	SSR	2,347	1,487	3,310
	SE	0,064	0,051	0,062
	P	0,980	1,420	2,674
	R^2	0,999	0,998	0,995

Tabela A.2 Valores dos parâmetros, coeficientes de determinação (R^2), da soma dos quadrados dos resíduos (SSR), o erro percentual (P) e erro padrão (SE) dos modelos para as temperaturas de 40, 50 e 60°C para o cultivar Elis na condição de Dessorção.

Modelos		40°C	50°C	60°C
BET ($a_w < 0.50$)	X_{mB}	9,849	7,366	6,63
	C_B	-33,029	-949,125	-1187,410
	SSR	0,203	0,313	0,660
	SE	0,061	0,133	0,157
	P	0,498	0,979	1,644
	R^2	1,000	0,999	0,998
	Chung e Pfof	A	-23,021	-15,578
B		-0,189	-0,240	-0,317
SSR		0,597	1,567	3,008
SE		0,000	0,000	0,000
P		0,446	1,103	1,871
R^2		1,000	0,999	0,996
GAB	X_{mG}	14,292	12,105	16,543
	C_G	55,515	21,536	42,786
	k	0,534	0,444	0,102
	SSR	0,778	0,983	0,505
	SE	0,022	0,013	0,026
	P	0,400	0,854	0,653
	R^2	1,000	0,999	0,999
Halsey	A	-33842,587	-3275,800	-7703,391
	B	3,723	3,331	3,865
	SSR	1,238	2,704	4,341
	SE	0,041	0,056	0,061
	P	0,719	1,460	2,206
	R^2	0,999	0,998	0,995
Henderson	A	-0,00003	-0,0002	-0,0001
	B	3,408	3,072	3,566
	SSR	0,968	1,049	1,694
	SE	0,037	0,031	0,053
	P	0,500	0,973	1,308
	R^2	1,000	0,999	0,998
Oswin	A	18,511	12,951	11,354
	B	0,201	0,224	0,193
	SSR	0,513	1,527	2,810
	SE	0,019	0,048	0,059
	P	0,424	1,058	1,770
	R^2	1,000	0,999	0,997

APÊNDICE B

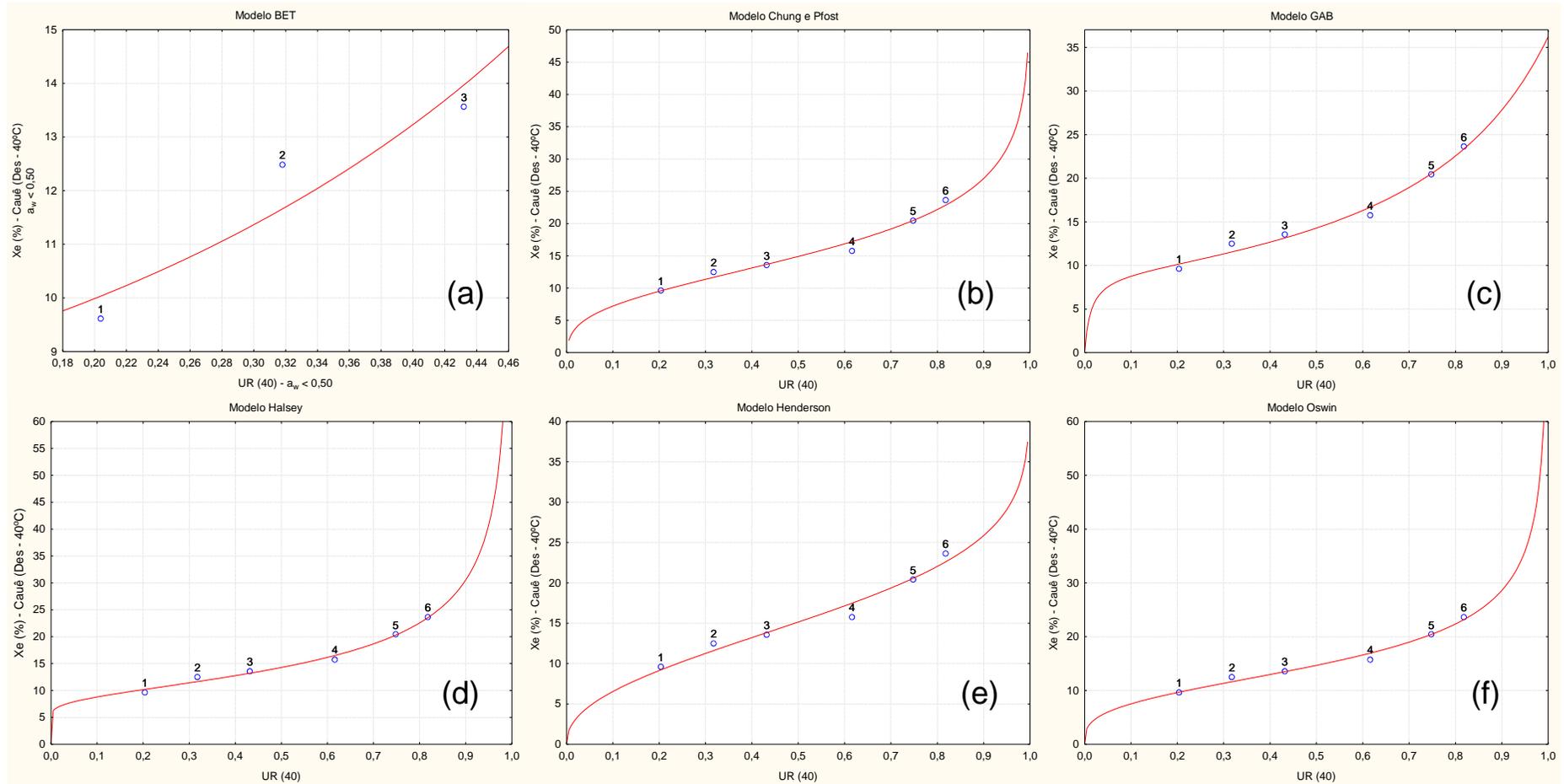


Figura B.1 Ajustes dos Modelos para o cultivar Cauê na temperatura de 40°C para a condição de Dessorção

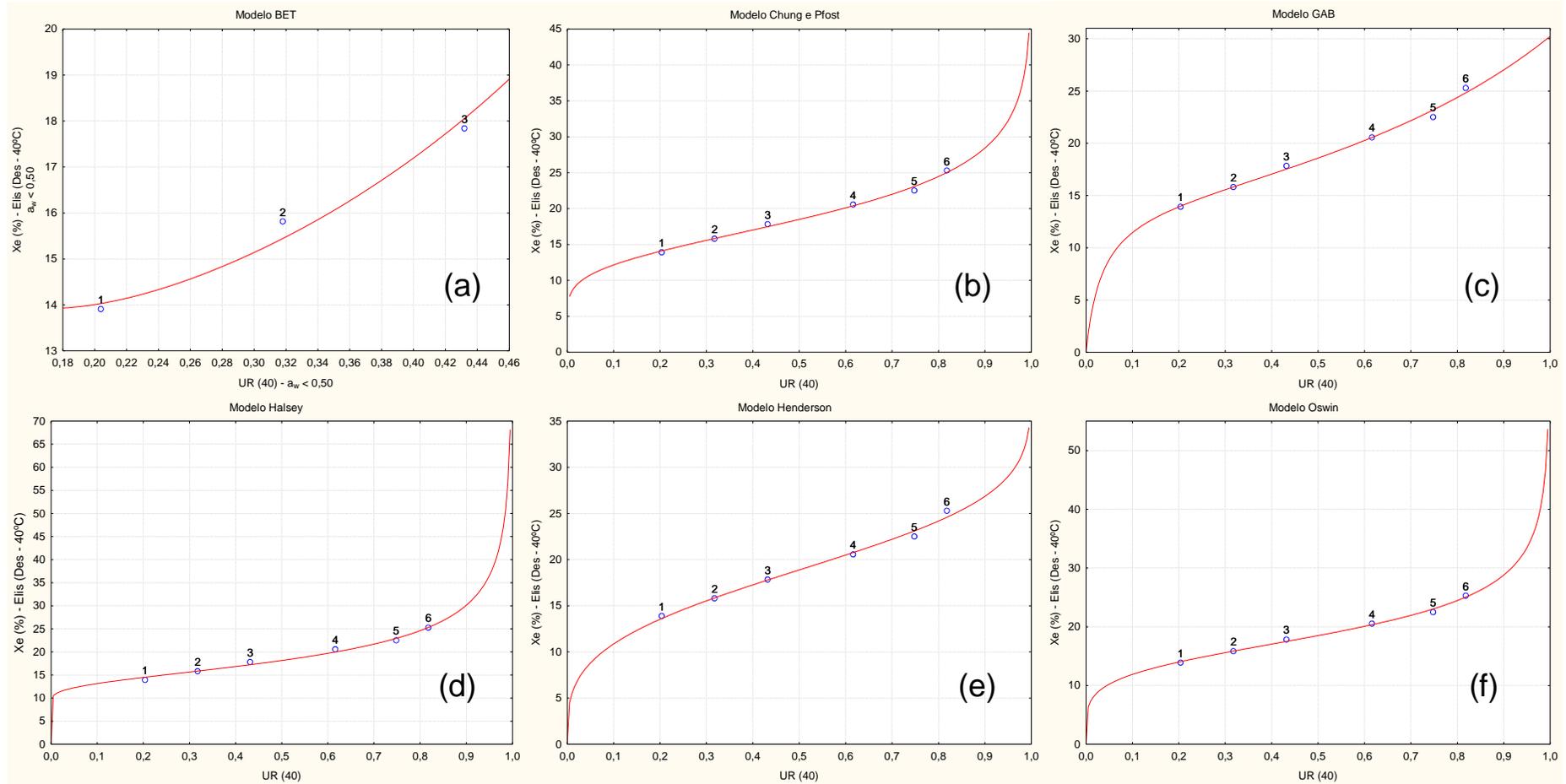


Figura B.2 Ajustes dos Modelos para o cultivar Elis na temperatura de 40°C para a condição de Dessorção

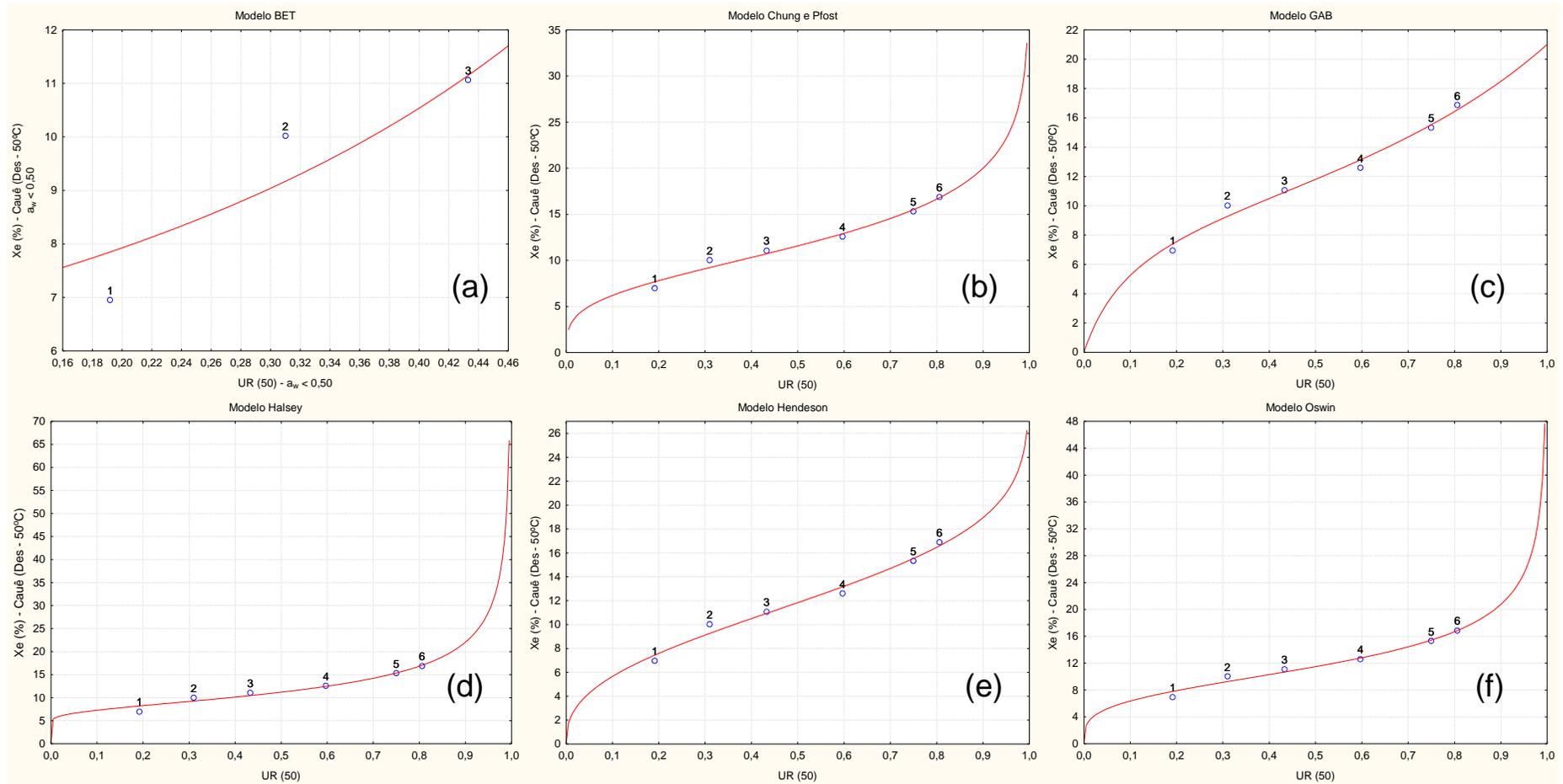


Figura B.3 Ajustes dos Modelos para o cultivar Cauê na temperatura de 50°C para a condição de Dessorção

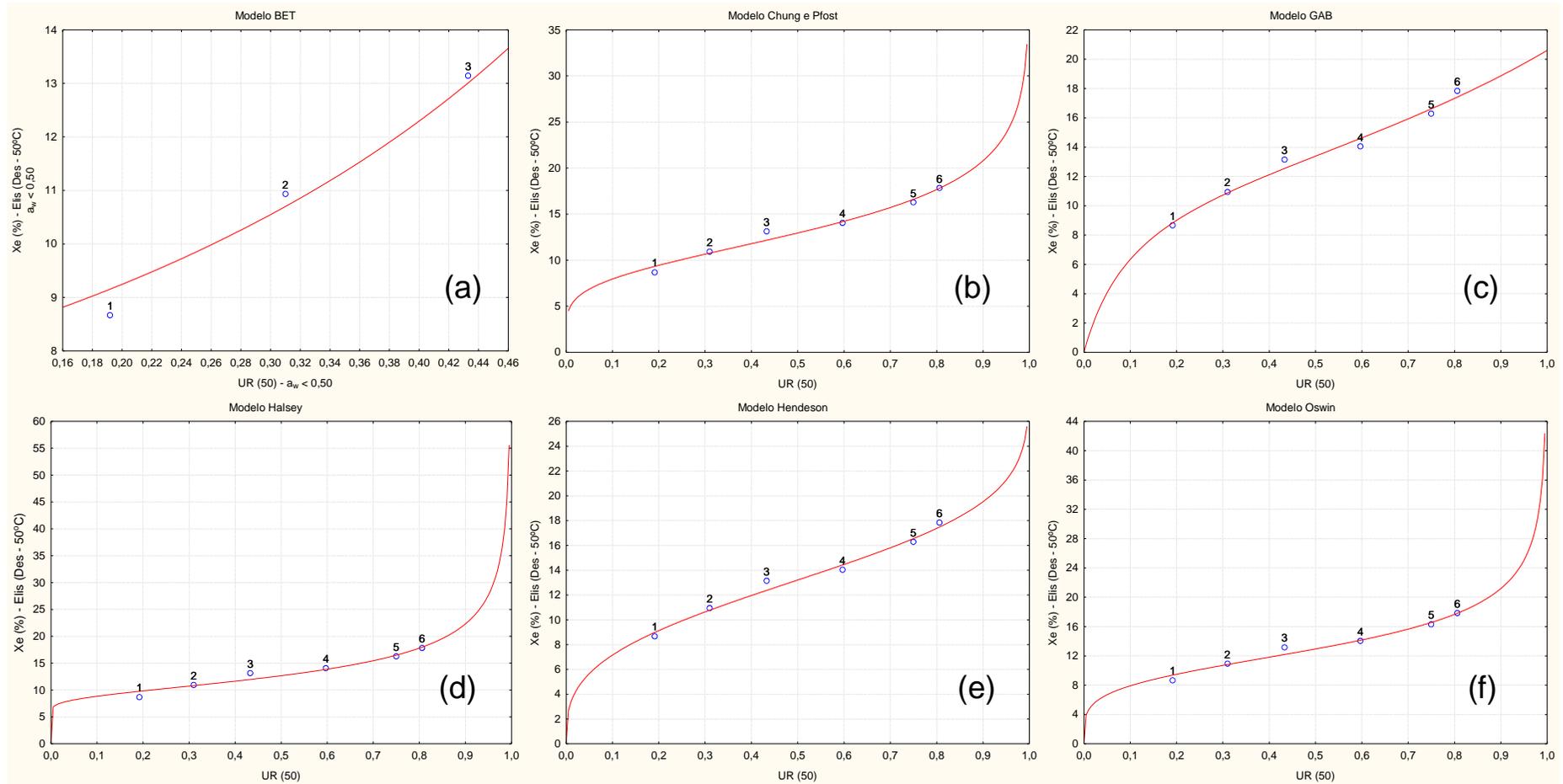


Figura B.4 Ajustes dos Modelos para o cultivar Elis na temperatura de 50°C para a condição de Dessorção

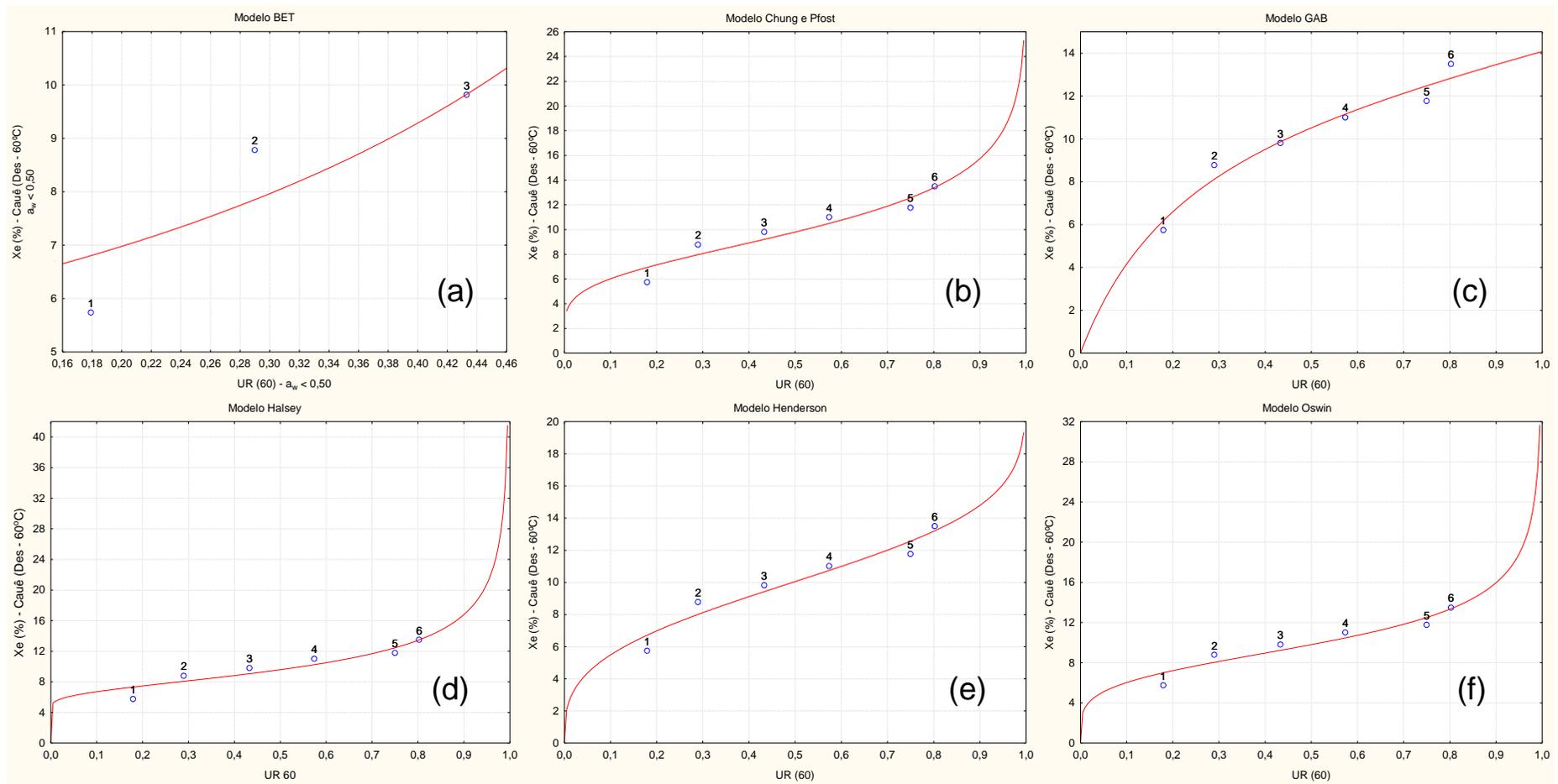


Figura B.5 Ajustes dos Modelos para o cultivar Cauê na temperatura de 60°C para a condição de Dessorção

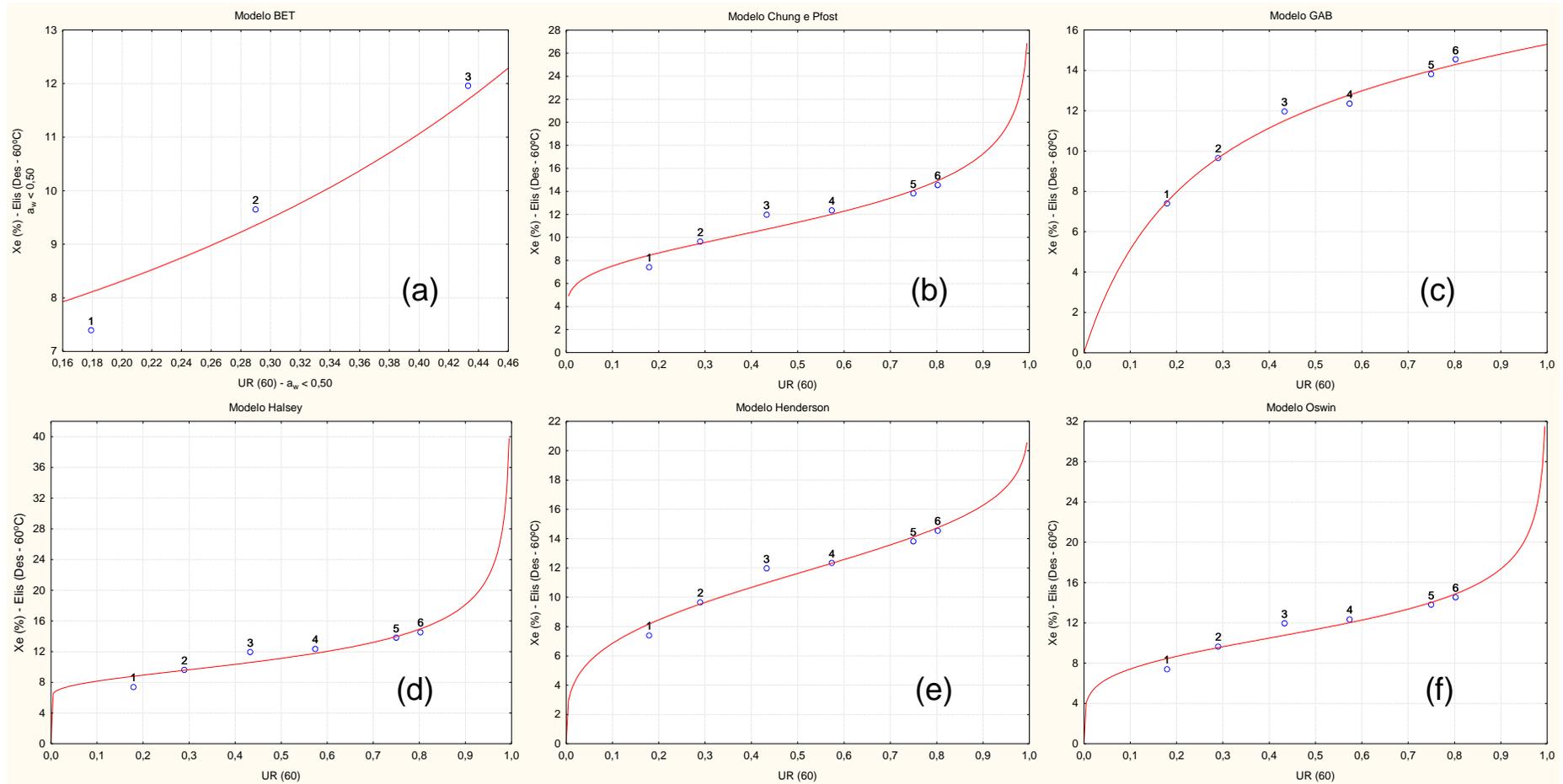


Figura B.6 Ajustes dos Modelos para o cultivar Elis na temperatura de 60°C para a condição de Dessorção