

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

CARACTERIZAÇÃO PARCIAL DE AMIDO EM CULTIVARES
BRASILEIROS DE CEVADA (*Hordeum vulgare* L.)

ROSANE MICHELE DUARTE SOARES

Florianópolis, 28 de fevereiro de 2003.

ROSANE MICHELE DUARTE SOARES

**CARACTERIZAÇÃO PARCIAL DE AMIDO EM CULTIVARES
BRASILEIROS DE CEVADA (*Hordeum vulgare* L.)**

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em
Ciência dos Alimentos, Departamento de Ciência e
Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências
Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina,
como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre
em Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof (a). Dra. Alicia de Francisco

Co-orientador: Prof. Dr. Valdir Soldi

Florianópolis, SC

2003

**CARACTERIZAÇÃO PARCIAL DE AMIDO EM CULTIVARES
BRASILEIROS DE CEVADA (*Hordeum vulgare* L.)**

Por

Rosane Michele Duarte Soares

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, pela comissão formada por:

Presidente: _____
Prof. Dra. Alicia de Francisco (Orientadora)

Membro: _____
Prof. Dr. Valdir Soldi (Co-orientador)

Membro: _____
Prof. Dra. Patricia Rayas-Duarte

Membro: _____
Prof. Dra. Edna Regina Amante

Coordenadora: _____
Profa. Dra. Roseane Fett

*Aos meus pais, Pedro e Odete,
minha irmã, Ana Camila e ao Ricardo,
por serem o meu "porto seguro".*

*"A morte do homem começa no instante em
que ele desiste de aprender."*

Albino Teixeira

AGRADECIMENTOS

- ◆ À professora Dra. Alicia de Francisco, pelo apoio e incentivo prestados desde a graduação;
- ◆ Ao Professor Dr. Valdir Soldi, pela disposição sempre presente;
- ◆ À Professora Dra. Patricia Rayas-Duarte, pela oportunidade oferecida, pela confiança e por ter aberto muitos caminhos;
- ◆ À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo auxílio financeiro;
- ◆ Ao Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (CAL), todos os professores, alunos e funcionários. Em especial a Dona Sônia, pelo cafezinho secreto (que agora não é mais secreto) e ao Sérgio, secretário da Pós-Graduação, pela amizade;
- ◆ SL-Cereais e Alimentos, Ltda. na pessoa do Sr. Tomas Setti pelo fornecimento das amostras e pelas dicas sempre pertinentes;
- ◆ Ao Professor Dr. Paulo José Ogliari, pela orientação nas análises estatísticas;
- ◆ À Marly, pela ajuda virtual fundamental no decorrer das análises de DSC;
- ◆ Aos colegas do laboratório CERES, pelo convívio sempre alegre;
- ◆ À turma de mestrado de 2001; em especial a: Melissa, Leila, Junia, Julieta, Tânia, Eliane e Priscila, pelo companheirismo ao longo destes meses;
- ◆ Aos amigos Sayonara, Jaison, Josi, Deisy, Luciana Garcia (Lú), Ana Lúcia e Yuzi, pelo companheirismo e pelos longos “bate-papos”....
- ◆ À Cris e Anna, pela amizade surgida ao longo destes anos;
- ◆ À Adriana e a Raquel, amigas de *“infância-adolescência”*, distantes, mas nunca esquecidas. É engraçado ver que cada uma seguiu caminhos tão diferentes, mas isto nunca significou ausência, pelo contrário, sempre estão presentes, mesmo que virtualmente, em todos os momentos de minha vida;
- ◆ À Dona Lilia Carioni, minha professora de Inglês, por insistir quando eu já queria desistir e pela admirável pessoa que é;

.. À minha nova e especial amiga Ma.Cristina Escobar por ter ensinado-me tantos valores em tão pouco tempo e ainda, pela ética e generosidade aplicados na vida e no trabalho;

◆ Aos colegas de laboratório na OSU, em especial ao Sam, Bobby, Tom, Ivonne e Mohammed pela descontração no ambiente de trabalho;

◆ Aos meus pais, Pedro e Odete, pelo amor, liberdade de escolha, pela torcida constante e por me mostrarem o caminho. À minha irmã, Ana Camila, pela alegria, e à Rauana, por ter surgido e ter feito tudo ficar tão mais feliz de repente;

◆ À Inês, Seu Zé e Mauricio, por serem minha segunda família;

◆ Ao Ricardo..... Muito obrigada por dar tanto sentido a minha vida.... Especialmente pelo amor, paciência e diálogo sempre presentes nestes anos de convívio. Obrigada por acreditar em mim e desta forma, ser sempre meu maior incentivador.

A todas estas pessoas, e àquelas que eu possa ter esquecido: MUITO OBRIGADA!

SOARES, R.M.D. **Caracterização parcial de amido em cultivares Brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RESUMO

Neste trabalho foram analisados dois cultivares brasileiros de cevada com o objetivo de determinar a composição físico-química da farinha, realizar o isolamento do amido, determinar sua composição química e verificar o poder de inchamento e solubilidade relacionando estas propriedades com a composição química do amido isolado. Na segunda parte deste trabalho foram estudadas as propriedades térmicas, microscópicas e reológicas do amido isolado. Os cultivares selecionados foram: o cervejeiro, BR-2 e um nu, ainda em caráter experimental no país. As análises físico-químicas foram conduzidas seguindo as normas da *American Association of Cereal Chemists* (AACC) e todas foram realizadas em triplicata, considerando-se significativo valores de $p \leq 0,05$. Os resultados da composição físico-química da farinha, mostraram valores significativamente diferentes entre os dois cultivares ($p \leq 0,05$). Não foram observadas diferenças significativas para os valores de β -glucanas. O amido isolado apresentou diferença significativa para os teores de amido, proteínas, lipídios, amilose e cinzas ($p \leq 0,05$). O conteúdo de amilose parece ter influenciado diretamente nas características de inchamento e solubilidade. Para as propriedades térmicas foram observadas diferenças ($p \leq 0,05$) quanto à temperatura de gelatinização. O estudo de retrogradação (8 dias de estocagem/ 4 °C) revelou que os dois cultivares apresentaram índices elevados da mesma ($> 70\%$). A microscopia óptica aliada à técnica de DSC, pôde ilustrar e confirmar a perda de birrefringência durante o processo de gelatinização. As propriedades de pasta revelaram maior pico de viscosidade para o cultivar nu. As curvas de fluxo realizadas caracterizaram o amido isolado como dilatante e os experimentos oscilatórios demonstraram que G' e G'' comportaram-se de maneira semelhante durante o aquecimento e resfriamento da suspensão de amido. Os valores de $\tan \delta$ diminuíram a medida que G' e G'' aumentavam comprovando a formação de gel. As diferenças observadas entre os dois cultivares com relação às demais análises realizadas podem ter sido resultantes das técnicas de escolha para o isolamento e/ou ainda devido às características genéticas e de cultivo de cada cultivar.

Palavras-chave: amido de cevada, propriedades térmicas, reologia.

SOARES, R.M.D. **Caracterização parcial de amido em cultivares Brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ABSTRACT

The goals of this work were to evaluate the chemical composition of barley flour, isolate the starch and investigated its chemical composition, swelling power and solubility. In the second part of this work were studied the thermal properties, microscopic and rheological properties on the isolated starch. For this purpose were chosen two Brazilian barley cultivars: a malting (BR-2) and a hull-less (naked) barley cultivar still in experimental stage (IAC-IBON 86012-421). The chemical analyses were achieved according to the AACCC (*American Association of Cereal Chemists*) methods (1996) and all repetitions were made at least in triplicate considering $p \leq 0.05$. The results of chemical composition showed significant differences between the two cultivars ($p \leq 0.05$). These significant differences were not observed for β -glucans content ($p \leq 0.05$). The isolated starch presented significant differences for protein, lipids, amylose, ash and starch. The amylose content showed influences on swelling power and solubility. In the thermal properties there were significant differences for gelatinization temperature. For retrogradation study (8 days/ 4 °C) both cultivars showed high retrogradation values ($> 70\%$). The optical microscopy, confirmed the birefringence lost during the gelatinization process. For pasting properties study the naked cultivar showed the biggest viscosity peaks (168.99 RVU). Flow curve experiments showed a shear-thickening (dilatant) pattern for both starches and the oscillatory experiments showed that G' and G'' behaved in a similar way during the heating/cooling of starch suspension. As $\tan \delta$ values decreased as G' and G'' increased and this behavior was associated with gel formation. The differences between both cultivars could be due an isolation starch methodology and genetic and environmental conditions.

Keywords: starch barley, thermal properties, rheology

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Cevada	4
2.1.1	Um breve histórico	4
2.1.2	Características taxonômicas e estrutura do grão	7
2.1.3	Variedades de cevada (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	9
2.1.3.1	Cevada nua	9
2.1.3.2	Cevada Cervejeira	11
2.2	Componentes químicos da cevada	12
2.2.1	Fibra alimentar	12
2.2.2	β -glucanas	14
2.3	Amido	16
2.3.1	Estrutura dos grânulos	16
2.3.1.1	Componentes minoritários do grânulo de amido	19
2.3.2	Amilose e amilopectina	20
2.3.3	Estrutura cristalina do grânulo de amido	22
2.3.4	Propriedades térmicas e reológicas do amido	25
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

**CAPÍTULO 2 - AMIDO DE CEVADA (Hordeum vulgare L.) EM CULTIVARES BRASILEIROS:
I – COMPOSIÇÃO DA FARINHA, ISOLAMENTO DO AMIDO, PROPRIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS E MORFOLOGIA DO GRÂNULO**

1	INTRODUÇÃO	43
2	MATERIAL E MÉTODOS	45
2.1	Material	45
2.2	Composição química da farinha de cevada	45
2.3	Conteúdo de amilose	45
2.4	Isolamento do amido	46
2.5	Análises químicas no amido isolado	47
2.6	Microscopia eletrônica de varredura	47
2.7	Poder de inchamento e solubilidade	47
2.8	Análise estatística	47
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
3.1	Composição química da farinha de cevada	48
3.2	Isolamento e composição química do amido	52
3.3	Microscopia eletrônica de varredura	56
3.4	Poder de inchamento e solubilidade	57
4	CONCLUSÃO	62
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

**CAPÍTULO 3 - AMIDO DE CEVADA (*Hordeum vulgare* L.) EM CULTIVARES BRASILEIROS:
II – ANÁLISE TÉRMICA, MICROSCÓPICA E REOLOGICA**

1	INTRODUÇÃO	73
2	MATERIAL E MÉTODOS	75
2.1	Isolamento do amido e análises químicas	75
2.2	Propriedades térmicas	75
2.2.1	Retrogradação do amido	75
2.3	Microscopia óptica	76
2.4	Propriedades de pasta	76
2.5	Reologia	76
2.6	Análise estatística	77
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
3.1	Propriedades térmicas do amido isolado	78
3.2	Microscopia óptica	86
3.3	Propriedades de pasta	91
3.4	Reologia	91
4	CONCLUSÃO	98
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
	CONCLUSÃO GERAL	109
	PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS	111

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1** - Desenho esquemático para demonstração de cevada com duas e seis fileiras 7
- Figura 2** - Diagrama anatômico da cevada (*Hordeum vulgare* L.) 8
- Figura 3** - β -glucanas da cevada (*Hordeum vulgare* L.) 15
- Figura 4** - Estrutura da amilopectina e amilose 17
- Figura 5** - Representação diagramática de uma porção de amilopectina 21
- Figura 6** - Estrutura do grânulo de amido em diferentes níveis de magnificação 23

CAPÍTULO 2

- Figura 1** - Microscopia eletrônica de varredura para os amidos isolados dos cultivares de cevada 57
- Figura 2** - Poder de inchamento para o amido de cevada nua e cervejeira 58
- Figura 3** - Índices de solubilidade para os amidos de cevada em água 60
- Figura 4** - Relação entre o poder de inchamento e solubilidade para os amidos de cevada isolados 61

CAPÍTULO 3

- Figura 1** - Micrografias de microscopia de luz polarizada em amido de cevada cervejeira 88
- Figura 2** - Micrografias de microscopia de luz polarizada amido de cevada nua 89
- Figura 3** - Curvas de fluxo para os amidos de cevada cervejeira e nua nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e concentração de 6% 93
- Figura 4** - Módulo de armazenagem (G') e perda (G'') no aquecimento e resfriamento para os amidos na concentração de 10% 94
- Figura 5** - Valores de $\tan \delta$ (G''/G') no aquecimento e resfriamento para os amidos de cevada cervejeira e nua na concentração de 10%. 97

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 -	Produção de cevada	5
Tabela 2 -	Utilização da cevada para alimentação humana e ração	6
Tabela 3 -	Comparação entre genótipos de cevada nua e descascada	10
Tabela 4 -	Composição de cevada nua normal e normal cervejeira	12
Tabela 5 -	Conteúdo de fibra alimentar em cevadas com diferentes conteúdos de amilose	13
Tabela 6 -	Alguns padrões de comparação entre amilose e amilopectina	20
Tabela 7 -	Temperatura de gelatinização de amido de cevada	25
Tabela 8 -	Características da endoterma de gelatinização para alguns amidos	26

CAPÍTULO 2

Tabela 1 -	Composição química dos cultivares de cevada analisados	48
Tabela 2 -	Coeficiente de correlação para os valores da composição química de cevada nua e cervejeira	49
Tabela 3 -	Composição química do amido isolado nos cultivares de cevada	53
Tabela 4 -	Coeficiente de correlação para os valores da composição química do amido em cevada nua e cervejeira	55

CAPÍTULO 3

Tabela 1 -	Componentes químicos nos amidos de cevada isolados	78
Tabela 2 -	Propriedades térmicas dos amidos nativos de cevada	78
Tabela 3 -	Coeficiente de correlação entre o conteúdo de amilose e propriedades térmicas dos amidos de cevada gelatinizados e retrogradados	81
Tabela 4 -	Propriedades térmicas dos amidos de cevada retrogradados	83
Tabela 5 -	Propriedades de pasta para os amidos dos cultivares de cevada	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%R	Porcentagem de retrogradação
DH	Varição de entalpia
DH_{gel}	Varição de entalpia de gelatinização do amido nativo
DH_{ret}	Varição de entalpia de gelatinização do amido retrogradado
AACC	American Association of Cereal Chemists
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
DSC	Calorimetria diferencial de varredura
FAI	Fibra alimentar insolúvel
FAM	Amilose livre de lipídios
FAO	Food and Agricultural Organization
FAPA	Fundação agrária de pesquisa agropecuária
FAS	Fibra alimentar solúvel
FAT	Fibra alimentar total
G'	Módulo de armazenagem
G''	Módulo de perda
IAC	Instituto agrônomo de Campinas
IAPAR	Instituto agrônomo do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de geografia e estatística
LAM	Amilose complexada aos lipídios
LPL	Lisofosfolipídios
MET	Microscopia eletrônica de transmissão
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MFA	Microscopia de força atômica
MO	Microscopia óptica
p/p	Peso/peso
p/v	Peso/volume
Pasta_{temp}	Temperatura de pasta
pH	Potencial hidrogeniônico
P_{tempo}	Tempo de permanência no pico
P_{viscosidade}	Pico de viscosidade
T_f	Temperatura final de gelatinização
T_i	Temperatura inicial de gelatinização
T_p	Temperatura pico de gelatinização
V_{final}	Viscosidade final
WHO	World Health Organization

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 INTRODUÇÃO

Os cereais são entidades bioquímicas complexas, cuja composição e propriedades variam de acordo com a origem genética, ambiente e ainda, de uma variedade para outra. Realizando-se a caracterização físico-química e funcional destes compostos, uma série de parâmetros são encontrados, os quais exercem significativa influência no destino final desta matéria-prima. Desta forma, pode-se afirmar que assim como em outras áreas, na ciência dos cereais, um mesmo componente pode servir para a elaboração de inúmeros produtos.¹

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção total de cereais, juntamente com leguminosas e oleaginosas, alcançou em 2002 cerca de 44,201 milhões de toneladas somente na região sul do país. Dentre os cereais, somente em 2001, a produção brasileira de cevada em grãos, foi de 309,743 toneladas.²

Em virtude de sua ampla adaptação ecológica, da utilidade como alimento humano e animal e mais recentemente, como fonte de matéria-prima na elaboração de outros produtos, a cevada (*Hordeum vulgare* L.) vem se mantendo entre os grãos mais produzidos desde os primórdios da agricultura. A alimentação humana, representa o terceiro maior uso, sendo consumida na forma integral, de malte ou farinha.³ No organismo humano exerce comprovados efeitos funcionais, tais como redução dos níveis de colesterol sérico e resposta glicêmica, reduzindo concomitantemente o risco de doenças crônicas.⁴⁻⁶

No Brasil, o uso de cevada tem sido exclusivamente para consumo na indústria cervejeira e ração animal. Por este motivo, o cultivo sempre esteve limitado à região temperada nos planaltos do Rio Grande do Sul, em Santa Catarina e no Paraná, onde o clima favorece a produção de cevada com qualidade para a fabricação de cerveja.³

Dentre as variedades de cevada, merecem destaque os cultivares nus. Estes cultivares têm sido redescobertos recentemente por suas inúmeras aplicações na forma de grão integral e/ou por seu valor como ingrediente. Seu uso tem sido investigado por apresentar maiores quantidades de amido, proteína, e β -glucanas, o maior representante de fibra alimentar solúvel.⁷

O amido destaca-se por ser o maior componente nos grãos de cevada (50-75%), sendo sua quantidade dependente de cada variedade e meio ambiente. É constituído basicamente por moléculas lineares e ramificadas de amilose (aproximadamente 30%) e amilopectina (aproximadamente 70%) respectivamente.^{8,9}

Possui inúmeras aplicações na indústria alimentícia (ingrediente, bebidas, aditivo, substrato para fermentação, transformação enzimática) e não-alimentícia (papel, tecidos, adesivos)¹⁰ e ainda pode ser caracterizado como potencial componente em embalagens biodegradáveis.¹¹ Adicionalmente, o amido possui aplicações no setor farmacêutico e, mais recentemente, na cosmetologia.¹²

A grande variedade de aplicações para o amido explica-se tanto por sua disponibilidade, como também por suas variadas propriedades físico-químicas e funcionais¹⁰, sendo esta última, passível de modificações que a adaptem para determinado fim e, a melhorarem através de um baixo grau de substituição.¹² As propriedades físico-químicas dependem da origem genética deste amido, condições climáticas de produção, parâmetros tecnológicos (temperatura, conteúdo de água, etc.), do manejo da matéria-prima, das modificações físicas (tratamentos térmicos) ou químicas realizadas. Em função da grande variedade, usos e propriedades, o campo de caracterização de amido é imenso.¹⁰

Apesar da grande disponibilidade de amido de cevada, poucas pesquisas têm sido realizadas com este cereal, quando comparados por exemplo, com o milho e trigo. Parte desta negligência, deve-se ao fato da maior proporção de grãos de cevada serem utilizados na alimentação animal sem qualquer processamento. Outra razão, poderia ser a dificuldade do isolamento de amido de cevada como um produto puro, através do processo em escala industrial de fracionamento por maceração, o qual é complexo e requer grandes quantidades de água.¹³

Além disso, o processo de separação é muito importante, pois produtos naturais são misturados a vários outros componentes. O processo de produção hoje empregado para o amido, visa não somente a obtenção dos principais constituintes, como também, constituintes secundários, entre estes as proteínas, fibras e farelo presentes na cevada.¹²

Levando-se em consideração que:

No Brasil, especialmente na região sul há a maior representatividade na produção de cevada e, que a composição química e conseqüentemente as propriedades nutricionais dos cultivares de cevada brasileiros não têm sido estudados; o amido possui inúmeras aplicações, no setor alimentício (ingredientes em bebidas e alimentos, entre outros) e não-alimentício (papéis, adesivos e atualmente elaboração de biofilmes) e seu método de isolamento não vem sendo implementado em escala industrial no país; as propriedades físico-químicas, funcionais e reológicas do amido de cevada nua e cervejeira brasileiros necessitam ser pesquisadas; torna-se clara a necessidade de se favorecer um desenvolvimento regional, através do estudo das propriedades deste componente majoritário da cevada, bem como, futuramente, destinar sua principal matéria-prima para fins específicos.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar nos cultivares de cevada nua e cervejeira: o conteúdo de fibra alimentar total (FAT), solúvel (FAS) e insolúvel (FAI), β -glucanas, amido total, amido danificado, proteína, cinzas, umidade e lipídios; isolar o amido nos cultivares de cevada nua e cervejeira e verificar sua composição química, poder de inchamento e solubilidade, avaliar a morfologia do grânulo, as propriedades térmicas através da entalpia de gelatinização e realizar o estudo da retrogradação do amido, acompanhar as modificações nos grânulos de amido durante o aquecimento através da microscopia óptica, estudar as propriedades de pasta e reológicas do amido isolado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cevada

2.1.1 Um Breve Histórico

Embora ainda discuta-se qual foi o primeiro cereal cultivado no Egito, uma coisa é certa: encontrou-se cevada em sítios pré-históricos do delta datados de cerca de 4000 a.C., à qual se devem acrescentar o trigo e a espelta. As planícies do Nilo, periodicamente inundadas, produziam cereais em quantidade abundante e suficiente para o consumo nacional e para a exportação. O trigo e a cevada constituíam a base da alimentação e eram usados para a fabricação do pão e da cerveja.¹⁴

Estudos arqueológicos revelam o cultivo de cevada de duas fileiras, por volta de 8000 a.C., os cultivares de cevada de seis fileiras apareceriam somente 6000 a.C., entretanto, algumas evidências indicam que a cevada, já existia e era utilizada há 17000 anos atrás no Vale do Rio Nilo, Egito.¹⁵

Segundo a Food and Agricultural Organization (FAO), em nível mundial, a produção de cevada, possui seus maiores representantes entre os seguintes países: Canadá, Alemanha, Espanha, França, Estados Unidos, Países do Reino Unido, Suécia e Índia (Tabela 1).¹⁶

Com relação ao consumo, no ano de 1988, o Canadá liderava com sua utilização para ração, enquanto que em Marrocos, cada ser humano chegava a ter um consumo *per capita* anual de 68Kg de cevada destinados a alimentação humana (Tabela 1).¹⁷

Tabela 1 – Produção de cevada (*Hordeum vulgare* L.)

Produção de Cevada (ton.)	Ano 2000
Canadá	13.468.100
Alemanha	12.201.367
Espanha	11.283.100
França	9.978.000
Estados Unidos	6.921.000
Reino Unido	6.490.000
Dinamarca	4.110.000
África	2.274.000
Suécia	1.860.000
Argentina	450.000
Brasil	369.581
Holanda	319.000
Nova Zelândia	281.000
Suíça	273.300
Iraque	226.000
Arábia Saudita	192.000

Fonte: FAO (2001)¹⁸

Apesar de poder ser aproveitada de diversas maneiras, no Brasil a cevada é utilizada praticamente apenas na produção de malte. Sua cultura é relativamente recente, e sua expansão se deve, sobretudo à iniciativa e à obra de fomento realizada pela indústria cervejeira. Para toda a América Latina, os primeiros plantios não vão muito além do ano de 1920, pois as dificuldades de intercâmbio criadas pela Primeira Guerra Mundial originaram uma sensível escassez de matéria-prima.¹⁹

Na atualidade, representa importante opção de inverno para os produtores de grãos da Região Sul do país. Em sendo mais precoce e tolerante ao frio, pode ser semeada e colhida mais cedo que os demais cereais de inverno. Essas características,

além de permitirem a exploração de outras espécies na propriedade, contribuem para o melhor aproveitamento de máquinas, equipamentos e mão-de-obra, bem como para a instalação da safra de verão em época mais adequada.²⁰

Tabela 2 – Utilização da cevada para alimentação humana e ração em vários países

País	Ração (% do total)	País	Alimentação (kg/pessoa/ano)
Canadá	89	Marrocos	68,3
Turquia	88	Etiópia	19,0
Dinamarca	87	Algéria	18,1
Espanha	87	Afeganistão	15,4
Finlândia	86	Iraque	11,5
Itália	86	Tunísia	10,6
França	85	Líbia	8,9
Suécia	85	Coréia	7,5
Noruega	81	Irã	7,1
Áustria	79	Polônia	6,1
Suíça	79	Peru	4,8
Irlanda	78	Japão	1,1
EUA	72	Holanda	0,9
Alemanha	71	Nova Zelândia	0,9
Reino Unido	70	Alemanha	0,7
Iugoslávia	67	EUA	0,7
Holanda	64	Canadá	0,5
Bélgica	62	França	0,4
Austrália	60	Austrália	0,3
Japão	59	Dinamarca	0,3
Nova Zelândia	47	Itália	0,3
Portugal	47	Reino Unido	0,3

Fonte: Bhatti (1993)¹⁷

2.1.2 Características taxonômicas e estrutura do grão

Pertencente a família das gramíneas, do gênero *Hordeum*, da ordem Triticeae. Sua característica taxonômica marcante é a inflorescência formada por espiguetas alternadas em lados opostos de cada nó da superfície da ráquis da espiga. Possui uma espiguetas tripla em cada nó (Figura 1), uma central e duas laterais; quando as três espiguetas são férteis, forma-se espiga de seis fileiras de grãos e quando somente a espiga central é fértil, formam-se 2 fileiras de grãos por espiga.²¹

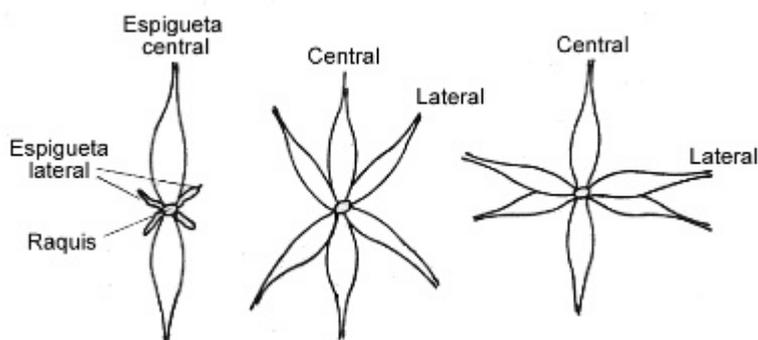


Figura 1 – Desenho esquemático para demonstração da cevada com duas e seis fileiras²²

O grão de cevada, assim como o de arroz e de aveia, é colhido com a casca intacta que consiste da lema e da palea. A carióspside por sua vez é composta de pericarpo, testa, germe e endosperma. A camada de aleurona é múltipla. Nas células do endosperma estão presentes grânulos de amido retidos dentro de uma matriz protéica (Figura 2). O peso médio do grão atinge aproximadamente 35mg.¹

A formação e desenvolvimento do grão de cevada são o resultado de uma série de eventos morfológicos e bioquímicos integrados. A faixa de duração do crescimento do grão, bem como a composição final e qualidade do mesmo, são influenciados pelas condições genéticas e ambientais. Estas incluem: temperatura, duração do dia, suprimento de água e ainda, disponibilidade de minerais no solo.²³ No entanto, o planejamento da lavoura, deve contemplar o emprego do conjunto de técnicas que potencializem altos rendimentos dentro do padrão de qualidade exigido e ainda,

aprimorar sua produção visando o destino final de cada componente requerido em particular, por exemplo, o amido e mais recentemente, as β -glucanas.²⁰

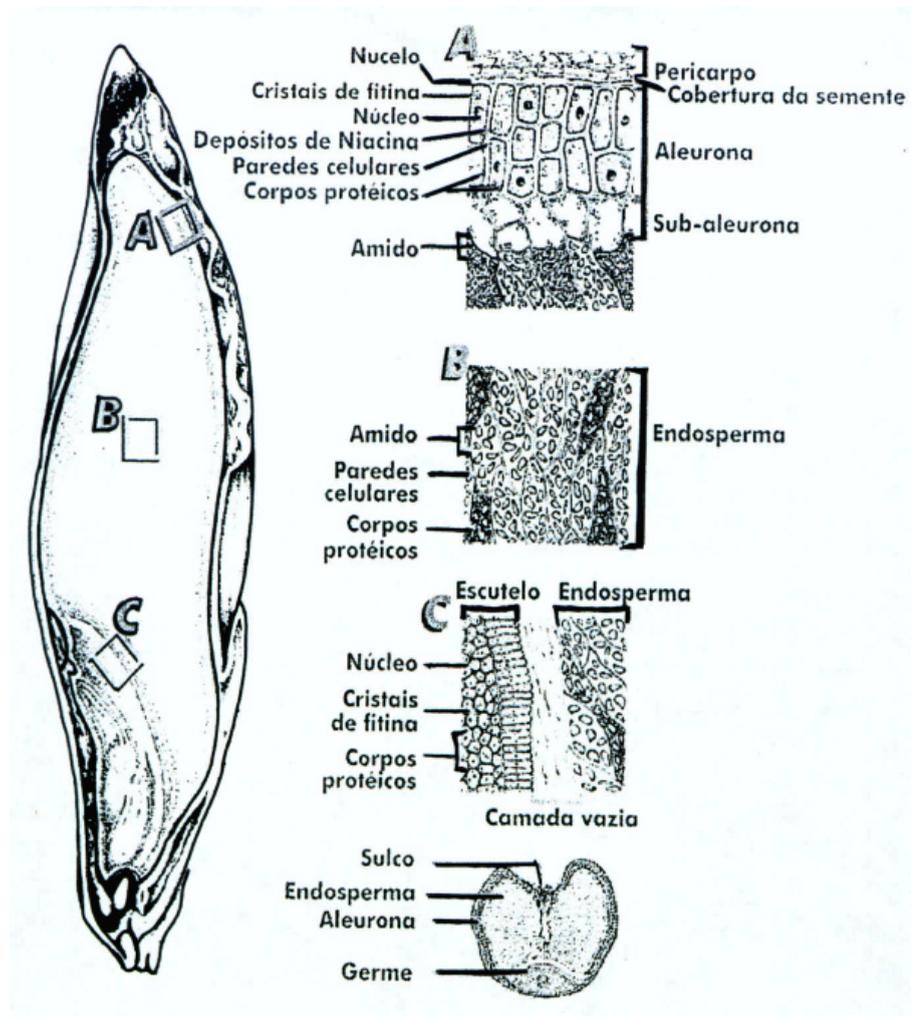


Figura 2 – Diagrama anatômico da cevada (*Hordeum vulgare* L.)

Mostra a inter-relação entre os tecidos em corte longitudinal (esquerda) e transversal (abaixo). As ampliações mostram as interpelações celulares do farelo (a), endosperma central (b) e a interface endosperma-germe (c)²⁴

2.1.3 Variedades de cevada (*Hordeum vulgare* L.)

2.1.3.1 Cevada nua

A cevada nua, uma variedade melhorada geneticamente, tem sido investigada por seu valor nutricional e por oferecer inúmeras aplicações na área de alimentos. As aplicações incluem desde a moagem e a produção de farelo e farinha, enriquecimento para concentração de β -glucanas, produção de etanol até a preparação de amidos nativos e modificados.⁷ De acordo com Bhatt⁷, o uso de cevada nua, poderá ser ainda revolucionário, transcendendo milhares de anos de história.

Na década de 70, durante estudos de investigação nutricional da casca de cevada, houve o redescobrimto da cevada nua. Atualmente, além do Canadá e Estados Unidos, nenhum outro país apresenta, até o momento, registros de cultivares de cevada nua, embora vários programas de desenvolvimento estejam sendo realizados. A proeminência desta variedade está no seu uso adicional em alimentos e na indústria.^{4, 7}

No Brasil, a cevada nua ainda carece de comprovações científicas quanto a sua composição centesimal e nutricional. Porém, campos experimentais já estão sendo desenvolvidos e novas pesquisas aliadas a laboratórios de análises de alimentos, têm sido realizadas com o objetivo de ampliar sua cultura no país¹.

Embora possua vantagens em relação a cevada descascada, pois não necessita de etapas prévias de retirada da casca, somente 2% da cevada nos Estados Unidos são utilizados para alimentação humana.⁶

¹ De Castro, Jairo Lopes (2001), Pesquisador científico – Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Quanto ao aspecto nutricional, estudos comparativos realizados nos Estados Unidos e Suécia, demonstram que a cevada nua geralmente contém mais proteína e amido, seus dois maiores componentes, além de possuir mais β -glucanas⁷ (Tabela 3).

Tabela 3– Comparação entre genótipos de cevada nua e descascada⁷

Constituintes (%)	Descascada ^(a)	Nua ^(a)	Descascada ^(a)	Nua ^(b)
Proteína	12,2	15,1	15,9	16,5
Cinzas	2,1	1,6	2,8	2,1
Amido	57,7	60,7	53,7	59,7
β -glucanas T.	4,8	5,7	5,2	5,6
β -glucanas sol	2,3	2,9	3,0	3,1
FAT	20,6	16,6	18,6	13,8

^(a) cérea, normal e com alto teor de amilose, respectivamente

^(b) Isotipos de Betzes (CI 6598) e Compana (CI 5438)

Dentre os produtos com cevada, utilizados na alimentação humana, tem-se o farelo de cevada nua, que pode ser obtido através separação e moagem dos grânulos. Consiste basicamente das camadas exteriores, testa, epiderme nucelar, aleurona e camadas de subaleurona do grão. O farelo obtido após o processamento pode apresentar escurecimento proveniente de pigmentos antociânicos presentes no pericarpo, o qual pode ser púrpura, azul ou preto (melaninas). Além de possuir valores de proteína e fibra alimentar elevados, o farelo de cevada, possui efeitos hipocolesterolêmicos.²⁵

De acordo com Bhatt⁷, a promoção de cevada nua em alimentos requer pesquisa sustentável e desenvolvimento de novos produtos com concomitante determinação da funcionalidade destes produtos, testes de aparência e sabor, seguidos pela aceitabilidade do consumidor.

2.1.3.2 Cevada cervejeira

A comissão de pesquisa da cevada, composta por Embrapa Trigo, IAPAR, Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda. e as companhias cervejeiras Antarctica Paulista e Brahma, representadas atualmente pela AmBev, oferecem suporte tecnológico à produção nacional de cevada cervejeira, além disso, reúnem-se anualmente, sob a coordenação da FAPA – Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, para realizar as indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira.²⁰

A composição química dos cultivares cervejeiros, seguem estritos parâmetros de qualidade quanto a variedade, tamanho, conteúdo protéico e potencial de modificação.²⁶ Algumas das características importantes para a qualidade do malte incluem: tamanho do grão e concentração protéica que deve ser baixa.^{26, 27}

Um bom cultivar cervejeiro deve apresentar ainda, baixo teor de β -glucanas (para evitar problemas na filtração da cerveja) e altos teores de amido (aumentar o rendimento).²⁶

Com relação ao teor de fibra alimentar, Aman e Newman²⁸ demonstram que cultivares de cevada cervejeiros podem apresentar teores de fibra entre 19,3 à 22,6%. Já para o amido, comparações entre cevada nua e cervejeira demonstram que a primeira possui elevado teor deste componente (Tabela 4).

Tabela 4 – Composição de cevada nua normal e normal (cervejeira)

Cultivar	Amido	Proteína	FAT
Normal			
Betzes	58,1	15,4	19,3
Compana	59,5	13,1	18,8
Compana Cér.	57,1	12,5	22,6
Normal (nua)			
Nubet	64,4	13,6	13,3
Nupana	65,2	12,1	15,6
Washonupana	60,5	16,6	12,6

Fonte: Aman e Newman (1986)²⁸

2.2 Componentes químicos da cevada

2.2.1 Fibra alimentar

As fibras alimentares estão constituídas por diferentes tipos de polissacarídeos (com exceção da lignina) com propriedades e características muito específicas. A capacidade destas em reter, absorver e ainda a adsorção de água, são algumas das propriedades físico-químicas importantes apresentadas por estas.²⁹ A solubilidade em água pode permitir sua classificação em: fibra alimentar solúvel e insolúvel.³⁰

As fibras solúveis são compostas por polissacarídeos não amiláceos, tais como β -glucanas e arabinoxilanas; apresentam tendência a formação de géis quando em contato com a água, aumentando a viscosidade dos alimentos digeridos no estômago.^{31,32}

Dentre as fibras alimentares insolúveis pode-se citar: lignina, celulose e algumas hemiceluloses. A lignina (composto não polissacarídeo) é um polímero fenólico que possui a capacidade de absorver ácidos biliares.^{31,32}

Dentre os compostos não-polissacarídeos destacam-se ainda: inulinas, oligofrutos, gomas e mucilagens. Também estão presentes substâncias associadas

aos polissacarídeos não-amiláceos: ceras, fitatos, cutinas, saponinas, suberinas e taninos.³²

O método para determinação de fibra alimentar total, atualmente utilizado pela Association of Analytical Communities (AOAC - 985.29 Fibra alimentar total em alimentos – Enzimático gravimétrico) foi também adotado pela American Association of Cereal Chemists (AACC) correspondendo ao método 32-05. Ambos foram aceitos como método oficial pelo comitê conjunto da World Health Organization (WHO) e FAO³³.

Estes métodos foram modificados para que se seguissem as distinções entre fibra alimentar insolúvel e solúvel. Esta distinção é baseada na solubilidade da fibra alimentar num sistema de pH controlado³³.

Atribui-se às fibras alimentares, propriedades fisiológicas como: diminuição dos níveis sanguíneos de colesterol em indivíduos hipercolesterolêmicos e de glicose em diabéticos, e capacidade de absorção e retenção de líquidos, o que facilita o movimento do bolo digestivo no trato gastrintestinal, corrigindo a constipação e diminuindo o risco de câncer de cólon.^{5, 7, 25, 31, 34-36}

Os valores de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel apresentam variações de acordo com a influência genética e ambiental. Além disso, o processamento também pode exercer efeito nos valores da fibra.³⁷

Bjorck e colaboradores³⁸ avaliaram o conteúdo de fibra alimentar total (FAT), solúvel (FAS) e insolúvel (FAI) em genótipos de cevada contendo diferentes níveis de amilose (Tabela 6). Os autores verificaram que o conteúdo de fibra alimentar solúvel, insolúvel e total, não está relacionado com o teor de amilose.

Tabela 5 – Conteúdo de fibra alimentar em cevada (*Hordeum vulgare* L.)

Cultivares	FAI	FAS	FAT
Campana cérea	14,5 ± 0,3	6,5 ± 0,1	21,0 ± 0,4
Alva	15,5 ± 0,2	4,7 ± 0,4	20,1 ± 0,3
Glacier normal	13,9 ± 0,2	6,5 ± 0,6	20,4 ± 0,5
Lina	15,5 ± 0,4	4,8 ± 0,7	20,3 ± 0,4
Glacier alta	16,7 ± 0,5	6,5 ± 0,7	23,3 ± 0,9

Fonte: Bjorck (1990)³⁸

Berglund e colaboradores⁶ avaliaram o conteúdo de fibra alimentar em cevada nua na forma de farinha, com o intuito de utilizá-la como ingrediente em produtos extrusados. Os valores encontrados para FAT em cultivares de cevada foram superiores (16,05g/100g) aos de farinha de trigo integral (8,80g/100g).

A farinha de cevada quando incorporada em pães, biscoitos e bolos é capaz de manter padrões de aceitabilidade por painéis sensoriais similares aos produtos elaborados com ingredientes padrão (farinha de trigo normal e integral).⁴

Embora não exista recomendação específica para a ingestão de fibra alimentar, para se obter os benefícios relacionados ao bom funcionamento do intestino, alguns estudos experimentais sugerem que seria necessária a ingestão de 25 a 35g/dia, sendo um quarto na forma de fibra solúvel.³⁹

Recentemente, vários grupos de trabalho, têm-se proposto a estabelecer recomendações sobre a quantidade de fibra alimentar a ser consumida diariamente, contudo, não têm sido fácil adequar os diferentes tipos de fibra às diferentes respostas fisiológicas conhecidas, principalmente em função da resposta individual e do estado de saúde do indivíduo.³⁹

2.2.2 β -glucanas

As (1,3)(1,4)- β -D-glucanas (Figura 3) são polímeros encontrados em pequenas quantidades, em diversos tecidos dos principais cereais constituindo o principal componente das paredes celulares da aveia e cevada. Apresentam grande importância no processamento de bebidas alcoólicas derivadas de malte pois, presentes em grandes quantidades na cevada, retardam o processo de maltagem e causam problemas na eficiência do processo de filtração da cerveja.³⁶

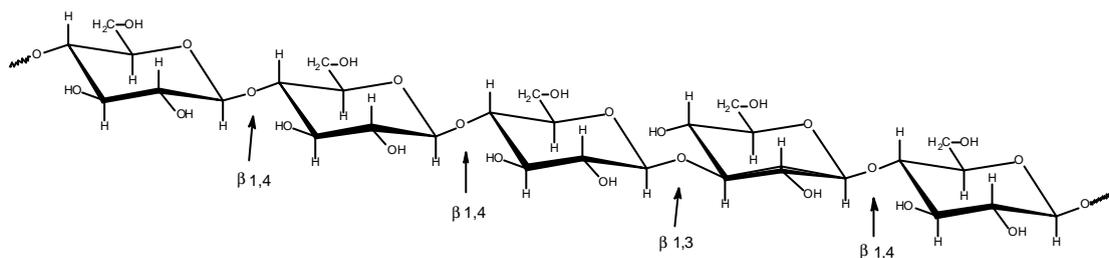


Figura 3 - β -glucanas da cevada (*Hordeum vulgare* L.)

As β -glucanas são, em sua maioria, solúveis em água e bases diluídas, com tendência a formar soluções viscoelásticas e géis. Apresentam alta viscosidade em baixas concentrações, sendo extremamente pseudoplásticas em concentrações aquosas de 0,5% ou superiores e estáveis na presença de açúcares e sais.³⁶

A solubilidade e viscosidade das beta-glucanas em cevada, são responsáveis pela regulação da glicose e colesterol sanguíneos.⁷ O conteúdo de β -glucanas em cultivares brasileiros de aveia geralmente oscila entre 5,5-6,5%.⁴⁰ Para cevada, estes valores são um pouco menores (3,0-5,5%).⁴¹

As frações de β -glucanas isoladas podem oferecer inúmeras aplicações em alimentos.⁷ Bhatti e colaboradores⁴² isolaram beta-glucanas de cevada e correlacionaram β -glucanas solúveis, amido, e pentosanas com o conteúdo extraído. Os autores verificaram que o solvente extrator, extraiu muito pouco amido (2%) o que contribuiu para a eficiência do método.

Existem diferentes técnicas para o isolamento de beta-glucanas, cada uma pode dar origem a diferentes compostos.⁷ Em 1998, Morgan e Ofman obtiveram um isolado de β -glucanas de cevada, o qual recebeu o nome de glucagel. Este novo composto isolado possui propriedades de termorreversibilidade, além de formar géis translúcidos que fundem a 60°C.³⁶

2.3 Amido

2.3.1 Estrutura dos grânulos

Nos cereais, a quantidade de amido varia entre 60-75% do peso do grão. É encontrado na forma de grânulos, os quais são formados nos plastídios. Na cevada, cada um dos plastídios contém apenas um grânulo de amido, pois este cereal contém grânulos de amido simples.^{9, 43} Além de possuir características físicas e químicas únicas, o amido provém cerca de 70-80% das calorias consumidas pelos humanos. A quantidade deste polímero utilizada na preparação de alimentos, excede a quantidade de todos os hidrocolóides combinados, sem incluir neste caso, o amido proveniente da farinha e utilizado para a fabricação de pães e outros produtos alimentícios.⁸

O amido contém geralmente 20% de uma fração solúvel em água, chamada amilose (Figura 4B) e 80% de uma insolúvel, conhecida como amilopectina (Figura 4A). Ambas frações correspondem aos carboidratos de peso molecular elevado e fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$. Por tratamento ácido ou pela ação de enzimas, os componentes do amido se hidrolisam lentamente, originando dextrina (uma mescla de polissacarídeos de baixo peso molecular), (+) maltose e, finalmente, D-(+)-glicose.⁴⁴ Tanto amilose, como amilopectina, estão constituídas por unidades de D-(+)-glicose, porém diferem em tamanho e estrutura molecular.^{44, 45}

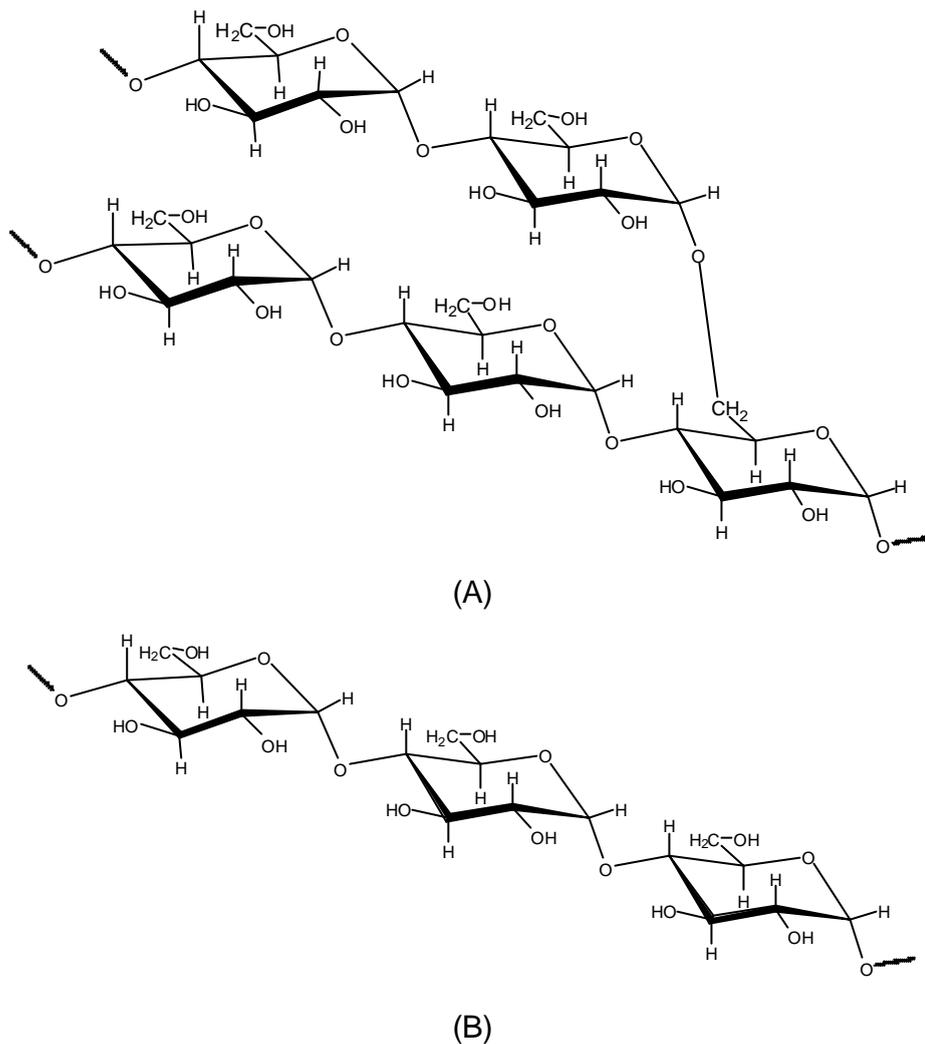


Figura 4 – Estrutura da amilopectina (A) e amilose (B)⁴⁴

A quantidade de amilose e amilopectina varia circunstancialmente no grão de cevada. Alguns cultivares sofrem técnicas de melhoramento genético no intuito de aumentar o teor de amilopectina (até 100%), são os chamados céreos. No entanto, também são conhecidas algumas espécies mutantes, cujo nível de amilose é muito superior aos cultivares normais (amilotipos).^{9, 45-48}

De acordo com McGregor e Fincher⁴⁹, no grão maduro o amido está presente exclusivamente no endosperma mas não é distribuído uniformemente. As últimas células na qual a síntese ocorre durante o desenvolvimento do grão são aquelas em torno do endosperma periférico. Entretanto, estas células, especialmente aquelas na

região subaleurona, estão cheias, preferencialmente, com proteína e não amido. Em comparação, a célula localizada centralmente contém mais amido e níveis menores de proteína.

O amido de cevada consiste em uma mistura de grânulos grandes, lenticulares (15-25 μ m) – TIPO A e menores, irregulares (<10 μ m) – TIPO B.^{8, 9, 49} Ambos são menores que os grânulos correspondentes de trigo ou centeio. Na cevada, os grãos lenticulares formam-se durante os primeiros 15 dias após a polinização. Os pequenos, representando um total de 88% do número de grãos, aparecem aos 18-30 dias posteriores a polinização.⁹ Entretanto, o tamanho e distribuição dos grânulos de amido dependem das condições climáticas nas quais este cereal irá se desenvolver⁴⁹⁻⁵², além disso, estudos são realizados no intuito de verificar a distribuição e o tamanho dos grânulos de amido em cereais visando sua influência no método de isolamento utilizado.⁵³

Em amido de cevada com alto teor de amilose, os grânulos tipo-B parecem ser maiores enquanto que os grânulos tipo-A são menores quando comparados aos cultivares de cevada normais. Song e Jane⁵⁴ caracterizaram amido de cevada cética, normal e com alto teor de amilose. O amido de cultivares de cevada normal e cética apresentou maior proporção de grânulos tipo-A, enquanto que cultivares nus e normais com alto teor de amilose, apresentaram grânulos A com menor diâmetro que os demais cultivares. Alguns estudos indicam que há correlação negativa entre os teores de amilose e grânulos menores de amido.^{13, 51, 55, 56}

Para MacGregor⁴⁹ embora os grânulos maiores representem somente uma pequena proporção do total do número de grânulos, estes constituem a fração de peso do total de amido presentes nesta variedade.

Peng & colaboradores⁵² verificaram que no amido de trigo, submetido ao processo de separação por peneiramento e centrifugação, o teor de amilose parece ser maior em grânulos tipo-A.

Li & colaboradores⁵⁶ ao verificarem a morfologia dos grânulos de amido em cevada nua, observaram que em determinados genótipos, a maioria dos grânulos pode estar intacta, porém em outros, estes grânulos podem estar agrupados, dificultando o seu isolamento.

2.3.1.1 Componentes minoritários do grânulo de amido

Segundo Buléon,⁴⁵ os menores componentes associados ao amido, correspondem a três categorias de materiais: i) material particulado, composto principalmente por fragmentos da parede celular; ii) Compostos de superfície, removíveis por processos de extração e iii) Componentes internos. Dentre os componentes internos, os lipídios representam a fração mais importante associada aos grânulos de amido em cereais (0,8-1,2%).

Os lipídios internos são primeiramente ácidos graxos livres e lisofosfolipídios (LPL). O conteúdo de lipídios em cereais varia com o teor de amilose e origem botânica. Os lipídios estão presentes na forma livre e ainda, ligados à amilose.^{8, 57} O amido comercial, fornecido para a indústria de alimentos, usualmente contém menos que 1% de lipídios, níveis maiores que este, geralmente são removidos via extração ou hidrólise.⁵⁸

Os componentes de superfície são proteínas, enzimas, aminoácidos e ácidos nucléicos. Alguns componentes podem ser extraídos sem rompimento de grânulo: aproximadamente 10% das proteínas e 10-15% dos lipídios.⁴⁵

As proteínas são parte da estrutura do amido e seu conteúdo varia dependendo da origem do amido. Sua presença é indesejável e favorece o surgimento de reações indesejáveis no processo de hidrólise do amido, porém o uso de enzimas específicas permitem sua exclusão no método de isolamento.⁵⁹

O conteúdo de cinzas, na forma de material inorgânico está presente entre 0,1-0,5%. O conteúdo de fósforo, principal mineral presente nos grânulos, pode estar na forma de grupos éster ⁸.

2.3.2 Amilose e amilopectina

De acordo com Schoch⁶⁰ o amido apresenta duas frações distintas baseadas na solubilidade em n-butanol: amilose e amilopectina. Embora este procedimento tenha sido modificado ao longo dos anos, estas duas cadeias permanecem como componentes majoritários no grão de cevada.

A amilose pode ser definida como uma molécula linear composta por unidades α -D-glicopiranosil, unidas por ligações (1 \rightarrow 4) (Figura 4B)^{9, 45, 48, 49, 61, 62}. Embora existam inúmeras controvérsias, hoje é estabelecido que algumas moléculas possuem poucas ramificações, talvez 0.3-0.5% do total das ligações, unidas através de ligações (1 \rightarrow 6).⁴⁵ Também possui tendência a formar hélices e girar, mesmo através das várias camadas de amilopectina.⁵⁸

As moléculas de amilose e amilopectina podem ser diferenciadas através do peso molecular, grau de polimerização e demais propriedades físico-químicas (Tabela 6).⁶³

Tabela 6 – Padrões de comparação entre amilose e amilopectina

Características	Amilose	Amilopectina
Porcentagem do peso molecular no grânulo	15-35%	65-85%
Porcentagem de ramificações α -1,6	< 1%	4-6%
Massa molecular (Da)	10^4 - 10^5	10^7 - 10^8
Grau de polimerização	10^2 - 10^3	10^3 - 10^4
Comprimento da cadeia	3-1000	3-50

Fonte: Ball (1998) ⁶³

De acordo com Hosney⁹ a natureza linear e de grande longitude confere a amilose propriedades únicas, tais como: capacidade de formar complexos com iodo, álcoois ou ácidos orgânicos; formação de precipitado em solução de amido (com adição de NaOH ou DMSO – dimetilsulfóxido) e ainda, tendência a associar-se consigo mesma e desta forma, precipitar na solução.

A amilose também diferencia-se da amilopectina pela quantidade relativa de componentes minoritários associados a esta molécula, visto que a molécula de amilose

apresenta-se complexada, em grande proporção, com os lipídios presentes no grânulo de amido.⁵⁷ Esta característica única faz com que a amilose influencie em grande parte as propriedades funcionais do amido.

A amilopectina consiste numa cadeia principal, chamada cadeia C (ligações α -1,4 e α -1,6) a qual estão ligadas extremidades redutoras e numerosas ramificações, chamada cadeia B. Associadas às cadeias B, estão as chamadas cadeias A (ligações α -1,4). As ramificações da amilopectina apresentam dupla hélice e o comprimento das cadeias, varia com a espécie e origem genética do amido (Figura 5).^{8, 9}

Devido ao vasto número de cadeias na estrutura da amilopectina, tem-se definido vários pontos de ramificações e portanto, torna-se difícil determinar ao certo a representação estrutural exata da amilopectina. Muitos pesquisadores têm proposto diferentes modelos, entre estes: clusters, dupla hélice e comprimentos de cadeias irregulares.^{58, 61, 64}

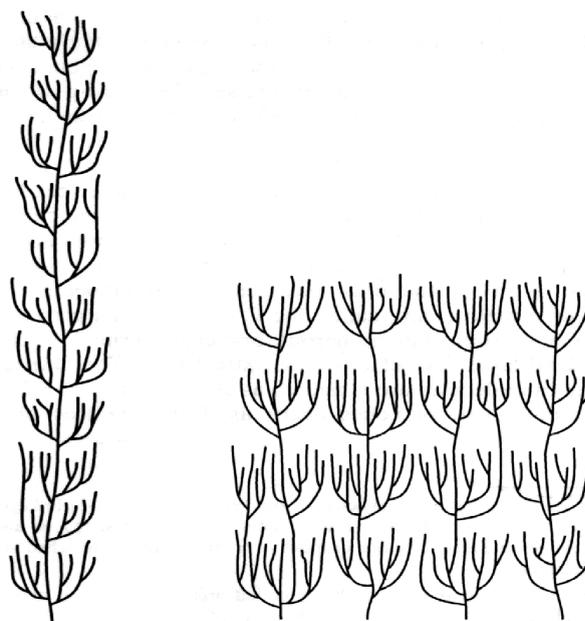


Figura 5 – Representação diagramática de uma porção de amilopectina (esquerda). Amplificação de agrupamentos acumulados típicos (direita).

Tang e colaboradores⁶⁵ ressaltam a importância de se investigar a correlação quantitativa utilizando-se amido de diferentes partes do grão e ainda desenvolvidos sob dessemelhantes condições ambientais. Ao separarem amilose e amilopectina de grânulos de amido grandes, médios e pequenos em diferentes frações do endosperma amiláceo de cevada, os autores verificaram que as maiores moléculas de amilopectina possuem cadeias mais longas e, menores quantidades de cadeias A, quando comparadas às moléculas de amilopectina menores.

2.3.3 Estrutura cristalina do grânulo de amido

No grânulo de amido, uma região de moléculas ordenadas cresce na direção radial a partir do centro (hilo). Grânulos completos, com moléculas arranjadas na direção radial, contém regiões cristalinas (“dura”) e não-cristalinas ou semi-cristalinas, em camadas alternadas (Figura 6).^{8, 66-70}

Consideráveis evidências através de estudos de microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia eletrônica de transmissão (MET) e mais recentemente de MFA (microscopia de força atômica) indicam que as lamelas cristalinas e amorfas de amilopectina estão organizadas em estruturas grandes mais ou menos esféricas que foram denominadas blocos (do inglês: *blocklet*) (Figura 6).^{48, 63, 66}

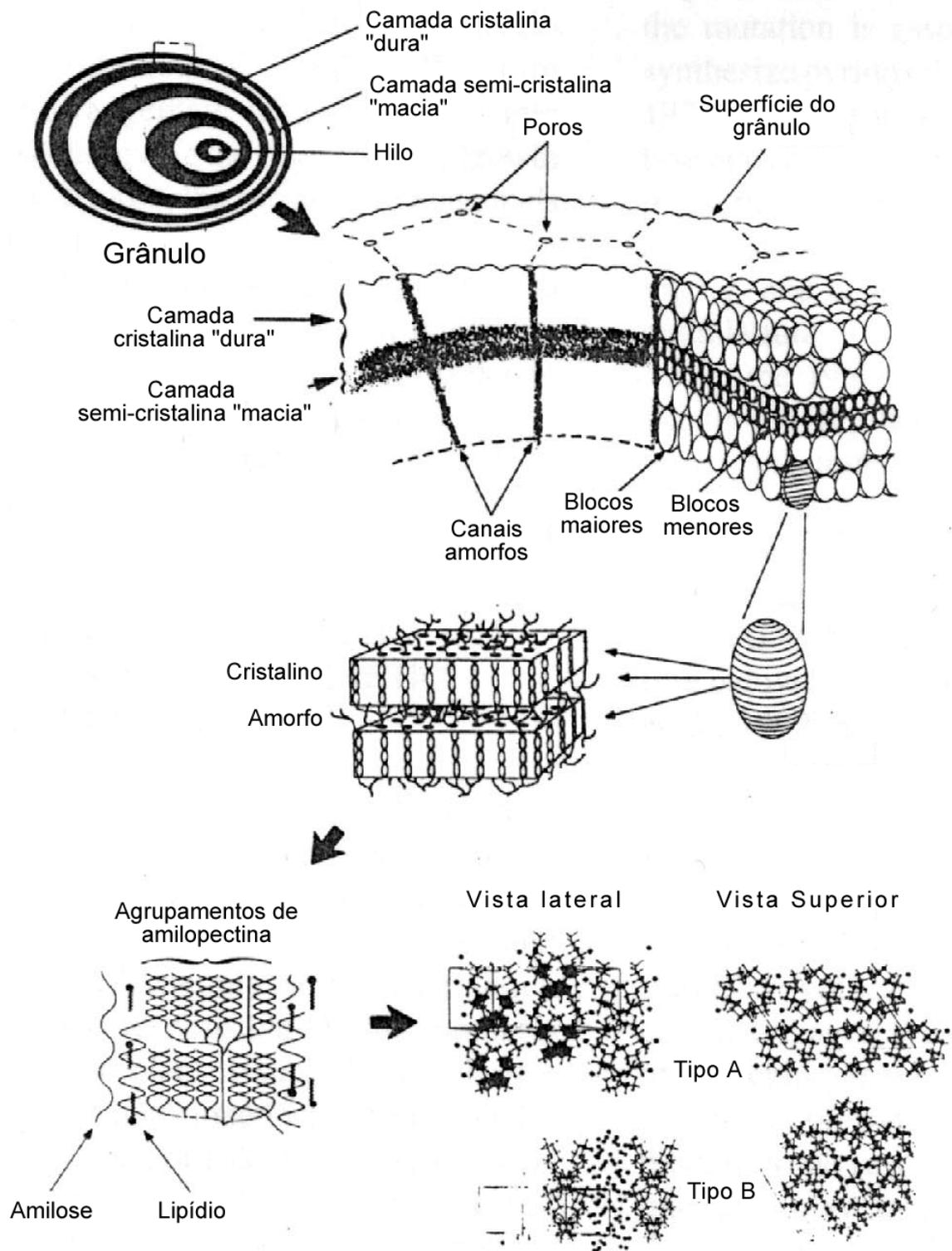


Figura 6 – Estrutura do grânulo de amido em diferentes níveis de magnificação⁶⁶

De acordo com Zobel⁷¹, o amido possui uma cristalinidade relativa que varia entre 15-45%. Para alguns autores, esta cristalinidade ou semi-cristalinidade (já que existem camadas alternadas) está diretamente associada a molécula de amilopectina, porém o amido que não contém amilose mostra um grau inalterado de cristalinidade.^{8, 9, 13, 23, 66, 72}

Como consequência deste grau de ordenamento, muitos grânulos de amido mostram a cruz de Malta (birrefringência) quando observados sob luz polarizada.^{1, 66} Para Gallant⁶⁶, ao utilizar-se um filtro adicional, a luz polarizada revela uma birrefringência positiva dos grânulos de amido o que teoricamente indica uma orientação radial dos eixos principais dos cristalitos.

Pouco é conhecido a respeito do grau de organização dos polímeros de amido, algumas evidências demonstram que existem camadas (ou lamelas) cristalinas e amorfas alternadas, as quais representariam as regiões ordenadas e desordenadas da amilopectina respectivamente.^{9, 66}

Para as diferentes regiões do grânulo do amido, existem basicamente três formas ou padrões cristalinos que podem ser visualizados sob difração de raios-x: A, B e C. A forma A é encontrada principalmente em cereais. A forma B, em amidos tuberosos e por vezes, em amido de cereais com alto teor de amilose, já a forma C é intermediária entre as formas A e B.^{9, 62, 66}

De acordo com estudos de Song e Jane⁵⁴ o amido de cultivares de cevada cética, nua, normal e com alto teor de amilose apresentam padrão de difração de raio-X característico (Forma A). Adicionalmente, o difratograma ainda apresenta picos na região $2\theta = 20^\circ$, o que reflete a presença do complexo amilose-lipídio (Figura 6). A formação deste complexo amilose-lipídio também é observada por outros pesquisadores.^{13, 45, 49, 63, 66, 73}

2.3.4 Propriedades térmicas e reológicas do amido

O termo “gelatinização” é utilizado para descrever a expansão e hidratação dos grânulos de amido quando estes são aquecidos na presença de água.⁷¹ Este processo também pode ser descrito como a fusão dos cristalitos de amido, os quais podem ser comprovados por análises termodinâmicas.

O processo de gelatinização é seguido pelo rompimento da ordem molecular dos grânulos e conseqüente perda de cristalinidade.⁷⁴ Evidências deste comportamento podem ser feitas através de estudos calorimétricos, demonstrando as endotermas de gelatinização que são transições térmicas de primeira ordem.^{49, 71} A ausência de cristalinidade pode ser visualizada através da perda da cruz de malta (birrefringência), perda do espectro de difração de raios-X e o aparecimento de uma endoterma de gelatinização (Tabela 7).⁷⁴

Tabela 7 – Temperatura de gelatinização de amido de cevada

Tipo de grânulo	Método utilizado	Temperatura de gelatinização
Normal	A	59-60
Alta amilose	A	64-66
Céreo	C	54.1-62.7

A - Temperatura na qual 50% dos grãos perdem birrefringência

C – pico de temperatura da endoterma do grânulo determinado por DSC

Fonte: MacGregor e Fincher (1993)⁴⁹

As endotermas de gelatinização podem variar com o conteúdo de água na amostra e ainda sofrer modificações de acordo com espécie de amido analisado⁷⁴ (Tabela 8), além disso, a temperatura aparente na qual a gelatinização inicia e a faixa na qual ela ocorre dependem do método utilizado para análise, tipo de grânulo (A/B) e heterogeneidade da população destes grânulos.⁸

Em uma determinada amostra de amido, os grânulos não gelatinizam a mesma temperatura, grânulos maiores geralmente gelatinizam primeiro, isto se deve às regiões cristalinas dentro do grânulo que são compostas por pequenos cristalitos, cada um exercendo um grau de diferença na composição cristalina. Cada cristalito funde e torna-

se desorganizado numa temperatura particular, logo a temperatura de gelatinização dos grânulos representa uma soma de eventos individuais.⁴⁹

Tabela 8 – Características da endoterma de gelatinização de alguns amidos

Origem	Temperatura (pico, °C)	DH (J/gm.s.)
Cereais		
Milho	65	14
Arroz	65-75	9-13
Cevada	60-65	7-13
Tubérculos		
Batata	65	18

Fonte: Song e Jane (2000)⁵⁴ e Mestres (1996)⁷⁴

Outro fenômeno decorrente do processo de gelatinização é a provável formação de complexos de inclusão entre os lipídios livres com as moléculas de amilose. A formação destes complexos é um processo exotérmico e irá resultar na redução da variação de entalpia de gelatinização (DH_{gel}) do amido.⁷⁵

Czuchajowska e colaboradores¹³ estudando a estrutura e funcionalidade de amido de cevada, verificaram através dos termogramas de DSC que a primeira transição de temperatura, > 60 °C, corresponde as endotermas de gelatinização de amido. A segunda transição, >100 °C, corresponde à formação do complexo amilose-lipídio.

Quando um amido é utilizado como um ligante ou como agente de textura em produtos industrializados, é necessário que este não somente tenha um alto poder ligante, como também a viscosidade do produto formulado deve se manter estável durante as diferentes etapas do processamento tais como: cocção, pasteurização ou esterilização.

O aquecimento contínuo do grânulo de amido em excesso de água, além de causar a perda de cristalinidade, também resulta no inchamento do grão e solubilização parcial dos polímeros (principalmente amilose) com aumento de viscosidade, gerando uma pasta (do inglês = *pasting*). A construção de curvas de viscosidade têm sido útil na avaliação das alterações do grânulo.^{8, 71}

O poder de inchamento e a solubilização observados em amidos de cereais são menores que aquelas observadas em amido de tubérculos. No entanto, se pode descrever a propriedade de pasta como um fenômeno composto de duas fases: uma fase dissolvente contendo os polímeros dissolvidos e uma fase dispersa constituída pelos grânulos inchados.⁷⁴

A gelatinização e a formação da pasta ocorrem porque, como a temperatura da suspensão amido-água aumenta, as moléculas no grânulo vibram e giram tão violentamente que as ligações de hidrogênio intermoleculares são quebradas e substituídas por ligações de hidrogênio da molécula de água, produzindo uma hidratação extensiva.^{8,9}

A água é o plasticizante para o amido. Seu efeito de mobilidade é percebido primeiramente nas regiões amorfas, as quais estão num estado vítreo, não cristalino. Quando os grânulos de amido são aquecidos na presença de até 60% de água e sua temperatura de transição vítrea é alcançada, T_g , as regiões amorfas plasticizadas sofrem uma transição de fase, passam do estado vítreo para um estado borrachoso.^{8,9}

No caso do amido nativo, a T_g está muito próxima da temperatura de gelatinização e desta forma torna-se difícil observá-la. Assim como na temperatura de gelatinização, a temperatura de transição vítrea do amido nativo aumenta de maneira exponencial quando o conteúdo de água da amostra diminui abaixo de 25%. Estas duas fases exercem influência mútua e a temperatura de um amido gelatinizado é menor que a de um amido nativo.⁷⁴

O armazenamento prolongado do amido e a maior interação entre as cadeias fazem com que ocorra a formação de cristais, onde algumas moléculas do amido se associam novamente, formando um precipitado ou gel com concomitante aumento da opacidade do mesmo. Este processo de cristalização das cadeias do amido recebe o nome de retrogradação.^{9, 47, 68, 76}

De acordo com Mestres⁷⁴ o fenômeno de transição vítrea tem uma grande importância para a retrogradação, pois considera-se que há duas etapas envolvidas no processo de cristalização do amido: a nucleação (formação de duplas hélices) que ocorre a baixas temperaturas próximas a T_g ; e a propagação (crescimento dos cristais

elementares) que ocorre a uma temperatura superior a T_g e próxima a temperatura de fusão do amido.

Em estudos conduzidos por Miles e colaboradores⁷⁷, foi sugerido que a retrogradação do amido consiste em dois processos separados, um envolvendo a amilose solubilizada durante a gelatinização (num processo de 24h) e outro envolvendo a amilopectina do grânulo gelatinizado (várias semanas).

Song & Jane⁵⁴ realizando estudos de retrogradação de amido em cevada cética, normal, nua e com alto teor de amilose nua submetidos a estocagem por 7 dias/4°C, verificaram que o amido de cevada nua com alto teor de amilose apresentou a maior temperatura de retrogradação (49,7°C), os autores atribuem este comportamento ao processo de cristalização envolvendo as partículas de amilose.

No amido, além de todos os aspectos acima citados, outras análises também possibilitam o esclarecimento de propriedades térmicas, entre estas, pode-se citar a reologia. O estudo de aspectos reológicos possibilita: i) verificar a relação entre o tamanho molecular e a forma dos materiais em solução, bem como sua viscosidade; ii) realizar testes no material cru no processo de controle da indústria; iii) Permitir o estudo da aceitabilidade pelo consumidor.⁷⁸ Durante o processamento, as dispersões de amido irão sujeitar-se a ação conjunta do aquecimento e taxas de cisalhamento, os quais causarão mudanças nos aspectos reológicos e nas características finais do produto. Portanto, estudos com amido de cereais têm sido realizados visando aprimorar a sua implementação na indústria de alimentos, dentre estes, amido de milho⁷⁹⁻⁸², aveia^{83, 84}, trigo^{79, 81}, arroz^{81, 85} e cevada.^{84, 86}

Ao avaliar a viscosidade do amido, deve-se levar em consideração diversos aspectos que podem afeta-la: temperatura, concentração do soluto, peso molecular do soluto e pressão.⁸⁷ Além disso, ao serem estudados processos reológicos, deve-se ter em mente a influência da temperatura e da taxa de cisalhamento e seus efeitos no comportamento reológico das dispersões de amido.⁸⁸

A construção de curvas de fluxo e a escolha de experimentos de viscoelasticidade dinâmica permitem o acompanhamento do comportamento do material sob determinadas condições experimentais, variando-se para isto, parâmetros de escolha durante a realização dos experimentos. Dentre as variáveis de escolha, tem-

se a geometria utilizada e a escolha dos testes dinâmicos.⁸⁹ Diversos trabalhos^{82, 83, 88, 90-92} têm sido realizados no intuito de verificar a influência destes aspectos no comportamento reológico de sistemas alimentícios.

Li e colaboradores⁸² avaliaram a relação entre as características térmicas, reológicas e o poder de inchamento de vários amidos e verificaram que análises térmicas e características reológicas são essenciais para investigar o fenômeno de inchamento para os vários amidos escolhidos. Os autores verificaram que os valores de $\tan \delta$ estavam positivamente associados com o poder de inchamento e este, foi um bom índice para as diferenças de viscoelasticidade causadas pelas diferenças do tamanho do grânulo, conteúdo de amilose e variedade.

Addo e colaboradores⁹² analisaram as propriedades térmicas e reológicas de frações de farinha de trigo e verificaram o aumento dos valores de G' (módulo de armazenagem) nas temperaturas entre 60 e 65 °C o que indicou a formação de matrizes elásticas envolvendo glúten. Portanto, para os autores foi interessante notar que nem o glúten ou o amido sozinhos produziram apreciáveis respostas elásticas durante os testes de tensão de cisalhamento. Desta forma ficou claro que a formação da estrutura elástica em pães, deve-se sobretudo a ação conjunta de proteínas e amido e não somente das proteínas.

Tsai e sua equipe⁸⁵ relacionaram a rigidez de grânulos inchados de amido de arroz e a concentração empregada no mesmo. Foi verificado que a interação entre os grânulos inchados a baixas concentrações, pode ser menor que em sistemas de concentrações maiores, conseqüentemente os valores de G' e G'' a baixas concentrações, foram menores que aqueles de concentrações maiores, durante o aquecimento. Os resultados foram de encontro aos relatados por Lii e colaboradores⁹³, porém para estes, embora os grânulos inchados tenham exercido um efeito positivo no aumento de G' e G'' , a quantidade de água não foi suficientemente disponível para o máximo inchamento dos grânulos.

Embora trabalhando com amido de batata e não de cereais, Kaur e outros pesquisadores⁹⁰ verificaram que a queda dos valores de $\tan \delta$ durante o resfriamento evidenciou a formação do gel, comportamento similar ao observado por Reddy e Seib⁹⁴ ao comparar amido de trigo e milho modificados e céreos.

Além dos efeitos acima estudados, o conteúdo de amilose também parece exercer influência significativa nas propriedades reológicas de amido. Em outro trabalho realizado⁹¹, a adição de amilose não aumentou os valores de G' durante o aquecimento, mas aumentou sob baixas temperaturas e baixas concentrações de amido. Este comportamento sugeriu que a amilose, uma vez liberada do grânulo de amido durante o aquecimento, não contribui para a matriz dos grânulos inchados. Portanto, as propriedades do grânulo de amido e suas características parecem ser os fatores primordiais no comportamento reológico, seguidos somente pelo conteúdo de amilose.

Thebaudin e sua equipe⁸¹ investigaram quatro tipos de amido, visando avaliar sua influência nas características texturiais do molho bechamel, utilizado como padrão no preparo do molho a base de amido. Os autores verificaram que houve ampla diferença no comportamento reológico entre os dois grupos avaliados (com bechamel e sem bechamel), estas diferenças podem ser descritas em termos de inchamento e solubilidade e podem ser atribuídas a presença de componentes, tais como lipídios e proteínas do leite que possuem propriedades não totalmente presumidas.

Os trabalhos empregando estudos reológicos com amido sugerem em sua maioria, complexas modificações estruturais que ocorrem durante a gelatinização, tratamento termomecânico e retrogradação, no entanto, durante o processamento industrial de dispersões de amido, as temperaturas de cozimento ultrapassam 100 °C, as taxas de cisalhamento geralmente são médias e há alta taxa de aquecimento e resfriamento.^{80, 83, 89, 95}

Portanto, muitas vezes, os experimentos reológicos não são realizados sob condições experimentais adequadas e este aspecto limita o desenvolvimento de modelos de estudo durante o tratamento termomecânico, o qual é de grande interesse para o controle de qualidade do produto final. Portanto, devido a grandes diferenças nas condições de aquecimento, os resultados em reologia não são facilmente comparáveis. Muito trabalho parece ser necessário, visando obter modelos e dados que se assemelhem as condições de processamento empregadas na indústria sob condições controladas.⁸⁸

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Technology**. St. Paul, Minnesota, USA.: American Association of Cereal Chemists, 1996. 19 p.
- 2 IBGE. **Indicadores Conjunturais para produção cereais, leguminosas e oleaginosas**, 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: Maio, 2002.
- 3 MINELLA, E. Melhoramento da cevada. In: UFV. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: 1999. p. 254-272
- 4 NEWMAN, R. K.; ORE, K. C.; ABBOT, J.; NEWMAN, C. W. Fiber Enrichment of baked products with a barley milling fraction. **Cereal Foods World**, v.43, n.1, p.23-25, 1998.
- 5 HECKER, K. D.; MEIER, M. L.; NEWMAN, R. K.; NEWMAN, C. W. Barley β -glucan is effective as a hypocholesterolaemic ingredient in foods. **Journal of the Science and Food Agriculture**, v.77, p.179-183, 1998.
- 6 BERGLUND, P. T.; FASTNAUGHT, C. E.; HOLM, E. T. Food uses of waxy hull-less barley. **Cereal Foods World**, v.37, n.9, p.709-714, 1992.
- 7 BHATTY, R. S. The potential of hull-less barley. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.589-599, 1999.
- 8 WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. 2ed. Minnesota: eagan press, 1999. 241 p.
- 9 HOSENEY, R. C. **Principios de ciencia y tecnologia de los Cereales**. 1ed. Zaragoza (España): Acribia, 1991. 321 p.
- 10 RUALES, J.; CARPIO, C.; SANTACRUZ, S.; SANTACRUZ, P.; BRAVO, J. **Manual de Métodos de Caracterización de Carbohidratos**. ed. Equador: Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología, 2000. 113 p.
- 11 FORSSELL, P. M.; MIKKILÄ, J. M.; MOATES, G. K.; PARKER, R. Phase and glass transition behaviour of concentrated barley starch-glycerol-water mixtures, a model for thermoplastic starch. **Carbohydrate Polymers**, v.34, p.275-282, 1997.
- 12 ROPER, H. Renewable Raw Materials in Europe - Industrial Utilisation of Starch and Sugar. **Starch/Starke**, v.54, p.89-99, 2002.

- 13 CZUCHAJOWSKA, Z.; KLAMCZYNSKI, A.; PASZCZYNSKA, B.; BAIK, B.-K. Structure and functionality of barley starches. **Cereal Chemistry**, v.75, n.5, p.747-754, 1998.
- 14 FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. **História da Alimentação**. 1ed. São Paulo: 1998. 885 p.
- 15 NILAN, R. A.; ULLRICH, S. E. Barley: Taxonomy, origin, distribution, production, genetics, and breeding. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St.Paul, Minnesota: American Association of cereal chemists, 1993. p. 1-28
- 16 **Crops and Products/FAOSTAT**, 2001. Disponível em: <apps1.fao.org/servlet/Xteservlet... CBD.CropsAndProducts&Language=&UserName=>. Acesso em: outubro, 2001.
- 17 BHATTY, R. S. Nonmalting uses of barley. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St.Paul, Minnesota, USA.: American Association of Cereal Chemists, 1993. p. 356-403
- 18 FAO. **FAOSTAT - Database Results**, 2001. Disponível em: <apps1.fao.org/servlet/xteservlet...CDB.CropsAndProducts&Language=&Username=>. Acesso em: 28 de outubro.2001.
- 19 BALDANZI, G.; BAIER, A. C. B.; FLOSS, E. L.; MANARA, W.; MANARA, N. T. F.; VEIGA, P.; TARRAGÓ, M. F. S. **As lavouras de inverno-2/ cevada, tremoço, linho, lentilha**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 184 p.
- 20 EMBRAPA. **Indicações Técnicas para a produção de cevada cervejeira: safras 2001 e 2002**. Passo Fundo, RS: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2001. 79p.
- 21 BOTHMER, R. V.; JACOBSEN, N. Origin, Taxonomy and related species. In: RASMUSSEN, D. C. **Barley**. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1985. p. 19-37
- 22 HOUGH, J. S.; BRIGGS, D. E.; STEVENS, R. **Malting and Brewing Science**. New York: Halsted Press, 1971. 678 p.
- 23 DUFFUS, C. M.; COCHRANE, M. P. Formation of the barley grain - morphology, physiology, and biochemistry. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Tecnology**. St.Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1993. p. 31-72

- 24 FULCHER, R. G.; WONG, S. I. Inside cereals - a fluorescence microchemical view. In: INGLET, G. **Cereal for Food and Beverages**. New York: Academic Press, 1980. p. 1-26
- 25 BHATTY, R. S. Hull-less barley bran: a potential new product from an old grain. **Cereal Foods World**, v.40, n.11, p.819-823, 1995.
- 26 BAMFORTH, C. W.; BARCLAY, A. H. P. Malting technology and uses of malt. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1993. p.
- 27 EAGLES, H. A.; BEDGGOOD, A. G.; PANOZZO, J. F.; MARTIN, P. J. Cultivar and environmental effects on malting quality in barley. **Australian Journal of the agricultural research**, v.46, n.5, p.831-844, 1995.
- 28 AMAN, P.; NEWMAN, C. W. Chemical composition of some different types of barley grown in Montana, U.S.A. **Journal of Cereal Science**, v.4, n.2, p.133-141, 1986.
- 29 ZARAGOZA, M. L. Z.; PÉREZ, R. M.; NAVARRO, Y. T. G. Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética. In: LAJOLO, F. M.; SAURACALIXTO, F.; PENNA, E. W.; MENEZES, E. W. **Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud - Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos**. São Paulo, SP: Varela, 2001. p. 196-209
- 30 DEVRIES, J. W.; FAUBION, J. M. Defining Dietary Fiber: A report on the AACC/ILSINA consensus WorkShop. **Cereal Foods World**, v.44, n.7, p.506-507, 1999.
- 31 MANTHEY, F. A.; HARELAND, G. A.; HUSEBY, D. J. Soluble and Insoluble Dietary Fiber Content and Composition in Oat. **Cereal Chemistry**, v.76, n.3, p.417-420, 1999.
- 32 AACC. The definition of Dietary Fiber. In: **Dietary Fiber Definition Committee to the Board of Directors of the American Association of Cereal Chemists**. St. Paul, Minnesota - USA: AACC, 2001. p. 112-129
- 33 PROSKY, L. What is fibre? Current Controverses. **Trends in food Science and Technology**, v.10, p.271-275, 1999.
- 34 RANHOTRA, G. S.; GELROTH, J. A.; ASTROTH, K.; EISENBRAUN, G. J. Effect of resistant starch on intestinal responses in rats. **Cereal Chemistry**, v.68, n.2, p.130-132, 1991.

- 35 SAMBUCETTI, M. E.; ZULETA, A. Resistant starch in dietary fiber values measured by the AOAC method in different cereals. **Cereal Chemistry**, v.73, n.6, p.759-761, 1996.
- 36 DE FRANCISCO, A.; DE SÁ, R. M. Beta-glucanas - Localização, propriedades e utilização. In: CYTED. **Fibra alimentar en Iberoamérica - Projeto XI-6**. Equador: 2000.
- 37 BHATTY, R. S. Physicochemical Properties of Roller-Milled Barley Bran and Flour. **Cereal Chemistry**, v.70, n.4, p.397-402, 1993.
- 38 BJORCK, I.; ELIASSON, A. C.; DREWS, A.; GUDMUNSSON, M.; KARLSSON, R. Some Nutritional Properties of starch and dietary fiber in barley genotypes containing different levels of amylose. **Cereal Chemistry**, v.67, n.4, p.327-333, 1990.
- 39 PACHECO, M. T. B.; SGARBIERI, V. C. Fibra e doenças gastrintestinais. In: LAJOLO, F. M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E. W.; MENEZES, E. W. **Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud**. São Paulo, SP.: Varela, 2001. p. 385-397
- 40 DE SÁ, R. M.; DE FRANCISCO, A.; OGLIARI, P. J.; BERTOLDI, F. C. Variação do conteúdo de beta-glucanas em cultivares brasileiros de aveia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.99-102, 2000.
- 41 SOARES, R. M. D.; DE SÁ, R. M.; DE FRANCISCO, A.; OGLIARI, P. J. Beta-glucans and microstructure of new Brazilian hull-less barley cultivars. In: Annual Meeting of the American Association of Cereal Chemists, 2000, Kansas, U.S.A. **Proceedings of Kansas, U.S.A.: AACC, 2000**. p. 274.
- 42 BHATTY, R. S.; MACGREGOR, A. W.; ROSSNAGEL, B. Total and acid-soluble β -glucan content of hull-less barley and its relationship to acid-extract viscosity. **Cereal Chemistry**, v.68, p.221-227, 1991.
- 43 SHANNON, J. C.; GARWOOD, D. L. Genetics and physiology of starch development. In: WHISTLER, R. J. B., J.N.; PASCHALL, E.F. **Starch: Chemistry and Technology**. ed. London: Academic Press, Inc. Ltd., 1984. p. 25-86
- 44 MORRISON, R. T.; BOYD, R. N. **Organic Chemistry**. 5ed. Boston, Massachussets, USA: Addison-Wesley Iberoamericana, 1990. p.1309-1315
- 45 BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. G. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.23, p.85-112, 1998.

46 HUANG, D. Selecting an Optimum Starch for Snack Development. **Cereal Foods World**, v.46, n.6, p.237-239, 2001.

47 KLUCINEC, J. D.; THOMPSON, D. B. Amylose and amylopectin interact in retrogradation of dispersed high-amylose starches. **Cereal Chemistry**, v.76, n.2, p.282-291, 1999.

48 KOSSMANN, J.; LLOYD, J. Understanding and Influencing starch biochemistry. **Critical Reviews in Plant Science**, v.19, n.3, p.171-226, 2000.

49 MACGREGOR, A. W.; FNCHER, G. B. Carbohydrates of the barley grain. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St. Paul, Minnesota - USA: AACCC, 1993. p. 73-128

50 MACGREGOR, A. W. Isolation of Large and Small Granules of Barley Starch and a Study of Factors Influencing the Adsorption of Barley Malt α -Amylase by these Granules. **Cereal Chemistry**, v.56, n.5, p.430-434, 1979.

51 MORRISON, W. R.; SCOTT, D. C.; KARKALAS, J. Variation in the composition and physical properties of barley starches. **Starch/Starke**, v.38, n.11, p.374-379, 1986.

52 PENG, M.; GAO, M.; ABDEL-AAL, E.-S. M.; HUCL, P.; CHIBBAR, R. N. Separation and characterization of A-and -type starch granules in wheat endosperm. **Cereal Chemistry**, v.76, n.3, p.375-379, 1999.

53 BECHTEL, D. B.; WILSON, J. Variability in a Starch Isolation Method and Automated Digital Image Analysis System Used for the Study of Starch Size Distributions in Wheat Flour. **Cereal Chemistry**, v.77, n.3, p.401-405, 2000.

54 SONG, Y.; JANE, J. Characterization of barley starches of waxy, normal, and high amylose varieties. **Carbohydrate Polymers**, v.41, p.365-377, 2000.

55 SZCZODRAK, J.; POMERANZ, Y. Starch and Enzyme-Resistant Starch from High-Amylose Barley. **Cereal Chemistry**, v.68, n.6, p.589-596, 1991.

56 LI, J. H.; VASANTHAN, T.; ROSSNAGEL, B.; HOOVER, R. Starch from hull-less barley: I. Granule morphology, composition and amylopectin structure. **Food Chemistry**, v.74, p.395-405, 2001.

57 MORRISON, W. R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Foods World**, v.40, n.6, p.437-446, 1995.

- 58 LUALLEN, T. E. A Comprehensive Review of Commercial Starches and their Potential in Foods. In: BRANEN, A. L. D., P.M.; SALMINEN, S.; THORNGATE, J.H. **Food Additives**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2002. p. 757-807
- 59 DZIEDZIC, S. Z.; KEARSLEY, M. W. The technology of starch production. In: KEARSLEY, M. W. D., S.Z. **Starch Hydrolysis products and their derivatives**. London: Chapman & Hall, 1995.
- 60 SCHOCH, T. J. Non-Carbohydrate Substances in the Cereal Starches. **Journal of the American Chemical Society**, v.64, p.9-12, 1942.
- 61 JANE, J.; CHEN, J. F. Effect of Amylose Molecular Size and Amylopectin Branch Chain Length on Paste Properties of Starch. **Cereal Chemistry**, v.69, n.1, p.60-65, 1992.
- 62 PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.1-17, 2001.
- 63 BALL, S. G.; VAN DE WAL, M. H. B. J.; VISSER, R. G. F. Progress in understanding the biosynthesis of amylose. **Trends in Plant Science**, v.3, n.12, p.462-467, 1998.
- 64 JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; MCPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.629-637, 1999.
- 65 TANG, H.; ANDO, H.; WATANABE, K.; TAKEDA, Y.; MITSUNAGA, T. Fine Structures of Amylose and Amylopectin from Large, Medium and Small Waxy Barley Starches Granules. **Cereal Chemistry**, v.78, n.2, p.111-115, 2001.
- 66 GALLANT, D. J.; BOUCHET, B.; BALDWIN, P. M. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**, v.32, p.177-191, 1997.
- 67 JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Hydrothermal Modifications of Granular Starch, with Retention of the Granular Structure: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, n.8, p.2895-2904, 1998.
- 68 JACOBSON, M. R.; OBANNI, M.; BEMILLER, J. N. Retrogradation of starches from different botanical sources. **Cereal Chemistry**, v.74, n.5, p.511-518, 1997.
- 69 JANE, J.; KASEMSUWAN, T.; LEAS, S.; IA, A.; ZOBEL, H. F.; IL, D.; ROBYT, J. F. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. **Starch/Starke**, v.46, n.4, p.121-129, 1994.

70 WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and Physicochemical Properties of Starches from Oats with Different Lipid Contents. **Cereal Chemistry**, v.71, n.5, p.443-450, 1994.

71 ZOBEL, H. F. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. **Starch: Chemistry and Technology**. 2ed. London: Academic Press, 1984. p. 285-309

72 GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F.; DELCOUR, J. A. Influence of botanical source and processing on formation of resistant starch type III. **Cereal Chemistry**, v.75, n.6, p.802-804, 1998.

73 HERMANSSON, A. M.; SVEGMARK, K. Developments in the understanding of starch functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v.7, p.345-353, 1996.

74 MESTRES, C. Los estados físicos del almidón. In: Conferencia Internacional de Almidón - Propiedades físico-químicas, funcionales y nutricionales. Usos, 1996, Quito, Ecuador. **Proceedings of**. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 1996. p. 1-16.

75 FREDRIKSSON, H.; SILVERIO, J.; ANDERSSON, R.; ELIASSON, A. C.; AMAN, P. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. **Carbohydrate Polymers**, v.35, p.119-134, 1997.

76 JACOBS, H.; DELCOUR, J. A. Hydrothermal modification of granular starch, with retention of the granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, n.8, p.2895-2904, 1998.

77 MILES, M. J.; MORRIS, V. J.; ORFORD, P. D.; RING, S. G. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Carbohydrate Research**, v.135, p.271-281, 1985.

78 MULLER, H. G. Non-Newtonian Liquids: Characteristics and Measurement. In: MULLER, H. G. **An Introduction to Food Rheology**. New York: Crane, Russak & Company, Inc., 1973. p. 67-76

79 ROSALINA, I.; BHATTACHARYA, M. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. **Carbohydrate Polymers**, v.48, p.191-202, 2002.

80 HAN, X. Z.; CAMPANELLA, O. H.; GUAN, H.; KEELING, P. L.; HAMAKER, B. R. Influence of maize starch granule-associated protein on the rheological properties of starch pastes. Part I. Large deformation measurements of paste properties. **Carbohydrate Polymers**, v.49, p.315-321, 2002.

81 THEBAUDIN, J. Y.; LEFEBVRE, A. C.; DOUBLIER, J. L. Rheology of Starch Pastes from Starches of Different Origins: Applications to Starch-based Sauces. **Lebensm.-Wiss. U-Technology**, v.31, p.354-360, 1998.

82 LI, J. Y.; YEH, A. I. Relationship between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. **Carbohydrate Polymers**, v.50, p.141-148, 2001.

83 DOUBLIER, J.-L.; PATON, D.; LLAMAS, G. A rheological investigation of oat starch pastes. **Cereal Chemistry**, v.64, n.1, p.21-26, 1987.

84 AUTIO, K. Rheological and Microstructural changes of oat and barley starches during heating and cooling. **Food Structure**, v.9, p.297-304, 1990.

85 TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviours of starches. **Cereal Chemistry**, v.74, n.6, p.750-757, 1997.

86 STOLT, M.; OINONEN, S.; AUTIO, K. Effect of high pressure on the physical properties of barley starch. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.1, p.167-175, 2001.

87 WINDHAB, E. J. Rheology in food processing. In: BECKETT, S. T. **Physico-Chemical aspects of food processing**. 1 ed. London: Chapman & Hall, 1995.

88 LAGARRIGUE, S.; ALVAREZ, G. The reology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: a review. **Journal of Food Engineering**, v.50, p.189-202, 2001.

89 KEETELS, C. J. A. M. **Retrogradation of Concentrated Starch Systems; Mechanism and Consequences for Product Properties**. 1995. 165 p. PhD Thesis, Department of Agriculture, Wageningen Agricultural University,

90 KAUR, L.; SINGH, N.; SODHI, N. S. Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. **Food Chemistry**, v.79, n.2, p.183-192, 2002.

91 LII, C. Y.; TSAI, M. L.; TSENG, K. H. Effect of Amylose Content on the Rheological Property of Rice Starch. **Cereal Chemistry**, v.73, n.4, p.415-420, 1996.

92 ADDO, K.; XIONG, Y. L.; BLANCHARD, S. P. Thermal and dynamic rheological properties of wheat flour fractions. **Food Research International**, v.34, p.329-335, 2001.

93 LI, C. Y.; SHAO, Y. Y.; TSENG, K. H. Gelation Mechanism and Rheological Properties of Rice Starch. **Cereal Chemistry**, v.72, n.4, p.393-400, 1995.

94 REDDY, I.; SEIB, P. A. Modified waxy wheat starch compared to modified waxy corn starch. **Journal of Cereal Science**, v.31, p.25-39, 2000.

95 ELIASSON, A. C.; BOHLIN, L. Rheological properties of concentrated wheat starch gels. **Starch/Starke**, v.34, p.267-271, 1982.

CAPÍTULO 2

AMIDO DE CEVADA (*Hordeum vulgare* L.) EM CULTIVARES BRASILEIROS: I – COMPOSIÇÃO DA FARINHA, ISOLAMENTO DO AMIDO, PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MORFOLOGIA DO GRÂNULO

Trabalho a ser submetido para a Revista "Cereal Chemistry"

Parte deste trabalho foi apresentada na XXII Reunião Anual de Pesquisa de Cevada realizada no período de 9-11 de Abril de 2001 em Passo Fundo, RS.

SOARES, R.M.D. **Caracterização parcial de amido em cultivares Brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RESUMO

A cevada representa uma importante fonte de fibra alimentar total e β -glucanas, além de possuir como componente majoritário, o amido, polímero formado por moléculas de amilose e amilopectina, as quais juntas são responsáveis pelas propriedades físico-químicas do amido. Em vista destes aspectos, este trabalho tem por objetivos determinar a composição química da farinha de cevada em dois cultivares, realizar o isolamento do amido, caracterizá-lo e verificar o poder de inchamento e solubilidade. A morfologia do grânulo após o isolamento foi analisada através da microscopia eletrônica de varredura permitindo avaliar o tamanho e a forma dos grânulos isolados. Os resultados da composição química mostraram diferenças significativas para os dois cultivares ($p \leq 0,05$) quanto aos valores de amido total, danificado, fibra alimentar total (FAT), fibra alimentar solúvel (FAS) e insolúvel (FAI), cinzas, lipídios e proteínas. O cultivar cervejeiro destacou-se quanto ao conteúdo de amido total, amido danificado, cinzas, FAT e FAI. Não foram observadas diferenças significativas para os valores de β -glucanas. Houve correlação negativa ($r = - 0,33$) para os valores de proteína e amido. O amido isolado apresentou valores significativamente diferentes para os teores de amido total, proteínas, lipídios, amilose e cinzas ($p \leq 0,05$). O amido de cevada cervejeira destacou-se ($p \leq 0,05$) quanto ao conteúdo de amido total, proteína, lipídios, cinzas e amilose sendo que o conteúdo de amilose influenciou diretamente nas características de inchamento e solubilidade. O amido isolado e suas características físico-químicas, parecem estar relacionados a uma série de parâmetros. No entanto, estudos mais sistemáticos e aprofundados são necessários para o completo entendimento de sua estrutura molecular e para um melhor entendimento de suas propriedades físicas e funcionais.

Palavras-chave: farinha de cevada, isolamento do amido, composição química

SOARES, R.M.D. **Caracterização parcial de amido em cultivares Brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ABSTRACT

Barley represents an important source of total dietary fiber and β -glucans, besides has as a majority component, the starch, a polymer constituted of amylose and amylopectin which together are the responsables for the physical-chemistry properties. The goals of this work were to evaluate the chemical composition of barley flour in two Brazilian barley cultivars, isolate their starch and verify the swelling power and solubility. The starch granule morphology was analysed by scanning electronic microscopy (SEM) which allowed evaluated the granule size and shape. Results from chemical composition showed significant differences between the two cultivars ($p \leq 0.05$) for total starch values, damage starch, total dietary fiber (TDF), soluble (SDF) and insoluble dietary fiber (IDF), ash, lipids and proteins. Malting cultivar presented higher values of total starch, damage starch, ash, TDF and IDF. There were not significant differences for β -glucans content. There was a negative correlation ($r = - 0.33$) between protein and starch. The isolated starch showed significant differences in the chemical composition. The malting barley had higher values of total starch, proteins, lipids and amylose. The amylose content seems to be influenced the swelling power and solubily. The isolated starch and its physical-chemistry characteristics seems to be related to a various parameters. More thorough and systematic studies, however, are needed to fully elucidate the molecular structure of barley starches and explain the origin of thir physical and functional properties.

Keywords: barley flour, isolation of starch, chemical composition

1 INTRODUÇÃO

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) representa o quarto cereal mais utilizado no mundo, logo após o trigo, arroz e milho.¹ Sua utilização para fins não cervejeiros, incluem: ração animal, alimentação humana e aplicações industriais.¹ No Brasil, este cereal representa importante opção de inverno para os produtores da Região Sul do país, onde é utilizada apenas para a produção de malte cervejeiro.² Devido a aspectos culturais e padrões de aceitabilidade, seu uso na alimentação humana ainda atinge uma pequena fração da população. A literatura relata estudos em países como Índia, onde a cevada é utilizada moída no preparo de pratos tradicionais.³ No Japão, Estados Unidos, Canadá, Reino Unido e Suécia, as propriedades do amido de cevada, maior constituinte polissacarídico neste cereal, tem sido extensivamente estudadas.⁴⁻¹¹

Dentre as variedades de cevada, destacam-se nutricionalmente os cultivares nus. Estes cultivares têm sido redescobertos desde a década de 70, por suas inúmeras aplicações na forma de grão integral e/ou por seu valor como ingrediente adicionado a sistemas alimentícios. Seu uso tem sido investigado por apresentar maiores quantidades de proteína, amido e β -glucanas, quando comparados aos cultivares descascados ou também denominados cervejeiros.¹²

Em função da sua constituição química a cevada tem sido extensivamente estudada nos últimos anos. Entre seus constituintes destaca-se a fibra alimentar, responsável pela diminuição dos níveis sanguíneos de colesterol em indivíduos hipercolesterolêmicos e de glicose em diabéticos.¹²⁻¹⁸ Além das β -glucanas, responsáveis pela regulação da glicose e colesterol sanguíneos.¹² Ao lado destes componentes, o amido, quantitativamente majoritário na cevada, tem sido amplamente estudado e, apesar disso, suas propriedades físico-químicas, conteúdo de amilose e a correlação destes parâmetros com aspectos genéticos e ambientais ainda não são completamente elucidados; aliado a este fator, soma-se a sua aplicabilidade no setor alimentício e não-alimentício que necessita ser aprimorada levando-se em consideração aspectos tecnológicos e de consumo.⁴⁻¹¹

Entretanto, apesar da grande disponibilidade de amido de cevada, poucas pesquisas têm sido realizadas no estudo de suas propriedades funcionais, quando

comparados por exemplo com outros cereais. Parte disto, provém do fato da maior parcela da produção de cevada no mundo, ainda ser utilizada na ração animal sem qualquer processamento. Uma outra provável razão, seria a dificuldade de isolar o amido como um produto puro através do processo de maceração, o qual é complexo, lento e requer grandes quantidades de água.⁶

Pesquisas bem conduzidas e resultados consistentes, irão proporcionar variáveis de interesse para a indústria de cereais no Brasil, desta forma, poder-se-á futuramente selecionar a variedade exata de cevada, melhorada ou não, a qual conterà os constituintes de maior interesse na formulação de novos ingredientes alimentícios e/ou componentes não alimentícios. Diante do exposto, os objetivos deste estudo foram: 1) Avaliar e comparar as propriedades nutricionais de cultivares brasileiros de cevada nua e cervejeira; 2) Isolar o amido destes cultivares e determinar sua composição química; 3) Verificar o formato e tamanho dos grânulos; 4) Determinar o poder de inchamento e solubilidade no amido relacionando seus valores com a composição química do mesmo;

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Para a realização do presente trabalho foram analisados dois cultivares Brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.): um cultivar de cevada nua, safra 2001 (IAC-IBON 86012-421) cultivado em caráter experimental, na cidade de Mauá da Serra-PR. e um cultivar cervejeiro (BR-2) recomendado através das indicações técnicas para produção de cevada cervejeira: safras 2001-2002. As amostras foram coletadas de 6 diferentes pontos do silo de estocagem, os quais foram divididos em unidades experimentais. Para obtenção da farinha, os grãos de cevada foram escolhidos manualmente, a fim de se eliminar impurezas e, em seguida, foram triturados em moinho (*Udy Cyclone Sample Mill*) equipado com peneiras acopladas de 0.5 mm.

2.2 Composição química da farinha de cevada

As análises químicas nas farinhas obtidas foram realizadas de acordo com as normas da *American Association of Cereal Chemists*.¹⁹ Foram realizadas análises de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel (AACC 32-07), β -glucanas (AACC 32-23), lipídios (AACC 30-10), cinzas (AACC 08-01), proteínas (AACC 46-12), amido total (AACC 76-13) e amido danificado (AACC 76-31) e umidade (AACC 44-19). Para os métodos de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel, β -glucanas, amido total e amido danificado foram empregados os kits da Megazyme (*Megazyme International Ireland Limited, Wicklow, Ireland*).

2.3 Conteúdo de amilose

O conteúdo de amilose foi determinado de acordo com o método de Mestres e colaboradores.²⁰ Foi utilizado o DSC TA-Instruments, modelo TA-2910, com programa de cinética e modulação acoplados. Foram empregadas soluções de 2-4% de L- α -lisofosfatidilcolina de gema de ovo (Sigma - St. Louis, MO) e amilose de batata (Sigma,

St. Louis, MO). O conteúdo de amilose foi corrigido, determinando-se o conteúdo de amido total presente nas amostras de cevada nua e cervejeira.

As amostras foram colocadas a 35 °C na célula recipiente enquanto uma panela com 50 µL de água foi colocada na célula referência. A temperatura foi varrida até 160 °C, numa taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ e mantida nesta temperatura por 2 min.. Em seguida, a temperatura foi reduzida para 35 °C a 10 °C min⁻¹. A quantidade do complexo “amilose-lipídio” formado foi determinada através da energia de transição exotérmica durante o resfriamento.

2.4 Isolamento do amido

O isolamento do amido foi realizado utilizando-se a técnica desenvolvida por Morrison e colaboradores²¹ com pequenas modificações. A farinha obtida no item 2.1, aproximadamente 200g, foi macerada por 17 horas em 0.02 M de HCl (10mL/g de farinha) a 4 °C. Depois de neutralizar com 0.2 M de NaOH a solução aquosa foi filtrada e os sólidos foram recuperados através de centrifugação (5000 × g). Os sólidos foram combinados com a farinha obtida através do peneiramento e, em seguida, foi realizada a adição de 0.1M de Tris-HCl (pH 7.6, 10mL/g de farinha) contendo 0.5% (p/v) de NaHSO₃ e 0.01% (p/v) de tiomersal e mantido sob agitação por 1h. Após este processo, foi realizada a adição de solução de protease (5mg/g de farinha) (Sigma, tipo XIV), e a suspensão foi digerida “*overnight*” a 4°C sob agitação constante. O material digerido foi filtrado e o processo foi repetido com adição de água destilada até não mais amido ser extraído. As águas de lavagem combinadas seguiram por sucessivas etapas de centrifugação e retirada de camadas de proteínas que eram aderidas a superfície do amido. Este processo repetiu-se até o amido tornar-se claro. O amido foi lavado com água e acetona e deixado “*overnight*” em uma estufa com convecção de ar quente (37°C). O rendimento foi calculado com base na farinha de partida e no amido seco isolado.

2.5 Análises químicas no amido isolado

Foram realizadas análises de amido total (AACC 76-13), lipídios (AACC 30-10), proteínas (AACC 46-12), cinzas (AACC 08-01), β -glucanas (AACC 32-23) e umidade (AACC 44-19). Para determinação de β -glucanas em amido, foi utilizado o kit enzimático da Megazyme (*Megazyme International Ireland Limited, Wicklow, Ireland*).

2.6 Microscopia eletrônica de varredura

Foi utilizado um microscópio Phillips, modelo XL 30 com filamento de tungstênio como fonte de elétrons e detector de elétrons secundários. As amostras foram colocadas sobre um porta-amostras de alumínio e recobertas com uma fina camada de ouro, em metalizador, modelo D2 Diode Sputtering System, fabricada pela ISI (International Scientific Instruments).

2.7 Poder de inchamento e solubilidade

Para determinação do poder de inchamento e solubilidade foi utilizada a técnica primeiramente descrita por Schoch²² e modificada por Sathe e Salunkhe.²³ As temperaturas utilizadas foram 65 °C, 75 °C, 85 °C e 95 °C para cada variedade de amido isolado. A técnica está baseada no preparo de uma suspensão de amido 1% (base seca) em água. Esta suspensão de 1% (p/v) é colocada a temperatura constante por 30 min., transcorrido o tempo desejado, centrifuga-se a suspensão durante 15 min. (2500 x g). Decanta-se o sobrenadante e os grânulos inchados são pesados. Para determinação da solubilidade, tomam-se 10 mL do sobrenadante, e estes são deixados na estufa durante 4 horas/120 °C.

2.8 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o artifício GLM do programa SAS system para Windows, versão 8 (SAS Institute Inc., Cary, NC). Foi realizada análise de

variância (ANOVA) com teste F, para verificar a existência de diferenças significativas entre as médias dos cultivares. A análise de variância foi conduzida ao nível de 5% de probabilidade, considerando-se significativo $p \leq 0.05$. Foi realizada análise de correlação dos parâmetros entre os dados da composição química do amido isolado e da farinha de cevada. Todas as amostras foram analisadas em triplicata.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição química da farinha de cevada

A composição química dos dois cultivares de cevada está resumida na Tabela 1 e os valores encontrados estão de acordo com aqueles citados na literatura.^{6, 24, 25}

Tabela 3 – Composição química dos cultivares de cevada analisados¹

Cultivar	A	AD.	CZ	P	Lip.	FAT	FAS	FAI	b-glu*
Nú	52,88 ^a	2,54 ^a	2,18 ^a	14,45 ^a	2,91 ^a	12,91 ^a	5,54 ^a	7,42 ^a	3,25 ^a
Cervej	64,35 ^b	3,38 ^b	2,48 ^b	12,38 ^b	2,50 ^b	17,91 ^b	4,38 ^b	13,53 ^b	3,46 ^a

* Resultados expressos em base seca

¹ Médias seguidas por letras iguais indicam não haver diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

* FAT, FAI e FAS = Fibra alimentar total, fibra alimentar insolúvel e fibra alimentar solúvel;

* A, AD, * CZ, P, Lip, β -glu = amido, amido danificado, cinzas, proteínas, lipídios e β -glucanas.

Houve bom ajuste ao modelo estatístico, havendo diferença significativa ($p \leq 0,05$) para todos os valores da composição química, com exceção das β -glucanas ($p \geq 0,05$). Todos os valores encontrados para β -glucanas totais, nos dois cultivares, vão de encontro àqueles citados na literatura.^{3, 26-29} Embora não tenha havido diferença significativa entre os cultivares para os valores de β -glucanas, estes estão positivamente correlacionados com o conteúdo de fibra alimentar total ($r = 0,85$, $p \leq 0,001$) e fibra alimentar solúvel ($r = 0,36$, $p \leq 0,27$) (Tabela 2). Bhatti e Rosnagel²⁴, também encontraram correlação positiva com o conteúdo de fibra alimentar total ($r = 0,81$, $p \leq 0,01$) e fibra alimentar solúvel ($r = 0,86$, $p \leq 0,01$) em 12 cultivares de cevada nua no Canadá.

Nos dois cultivares analisados neste trabalho, o valor da correlação (r) sofre um aumento significativo quando é levado em consideração somente o cultivar nu ($r = 0,90$,

$p \leq 0,01$), este comportamento parece estar relacionado com a menor presença de fibras alimentares totais e solúveis neste cultivar (Tabela 1). De acordo com alguns autores^{12, 30}, o conteúdo de β -glucanas sofre influência genética e ambiental, ou seja, em anos de clima seco, seu conteúdo e os níveis de viscosidade são aumentados, provavelmente devido ao aumento da sua síntese. Por outro lado, anos úmidos e chuvosos exercem influência negativa no seu conteúdo. Tais parâmetros dependem ainda de variáveis como: temperatura, duração do dia, suprimento de água e a disponibilidade de elementos minerais no solo.³¹

Tabela 4 – Coeficiente de correlação (r) para os valores da composição química nos cultivares de cevada nua e cervejeira

[Número Cervejeiro]	Amido	b-glucanas	FAS	FAT	AD
Proteína	-0,33*	0,24 ^{ns}	0,46*	0,04 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Amido T	–	-0,19 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	-0,004 ^{ns}	0,12 ^{ns}
b-glucanas		--	0,36*	0,85**	-0,12 ^{ns}
FAS			--	0,42*	0,09 ^{ns}
FAT				–	0,21 ^{ns}
[Nu]	Amido	b-glucanas	FAS	FAT	AD
Proteína	-0,57*	0,82**	0,57 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Amido total		-0,45 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,21 ^{ns}
b-glucanas			0,90****	0,66*	0,10 ^{ns}
FAS				0,85***	0,06 ^{ns}
FAT					0,33 ^{ns}

*, **, ***, **** valores significativos ao nível de 5%, 2,5%, 1% e 0,5%, respectivamente. ^{ns}, não significativo

FAS, FAT, AD = fibra alimentar solúvel, total e amido danificado

Embora o Brasil, ainda importe grande parte da cevada para a produção de cerveja, o cultivar cervejeiro analisado, apresentou valores de β -glucanas inferiores (Tabela 1) àqueles relatados em outros países^{29, 32}, o que pode significar que os seus valores não são a única variável na escolha para os cultivares na fabricação de cerveja.

Além disso, para Zhang²⁹, o conteúdo total de β -glucanas no mosto não depende somente do conteúdo presente no endosperma, mas também da atividade da enzima β -glucanase durante o processo de malteação.

Para Izydorczyk e colaboradores³³, os valores de β -glucanas também podem estar relacionados com o conteúdo de amilose no amido do grão de cevada, porém esta influência não pôde ser observada neste trabalho, uma vez que os valores de β -glucanas não foram significativamente diferentes.

Estudos conduzidos por Zhang³⁴ relatam que o número de espiguetas também pode exercer influência no conteúdo desta fibra solúvel. Para o autor, as plantas com somente uma espiguetas apresentaram o maior conteúdo de β -glucanas ao longo da espiga. Embora as variedades analisadas neste trabalho, possuam 3 espiguetas, os valores de β -glucanas encontrados são similares aos encontrados pelo autor, para as variedades com uma espiguetas, sugerindo que a influência genética e ambiental, bem como o uso de alternativas agrônômicas, podem determinar, em grande parte, a composição final do grão.

Além destes parâmetros anteriormente citados, para Bhatt¹², o método de análise utilizado também pode influenciar nos resultados obtidos. No presente trabalho, o método utilizado é o mais comum e aprovado pela AACC. Porém, outros métodos incluem o sistema calcoflúor-FIA, recomendado pela Convenção dos cervejeiros europeus. Para Izydorczyk e MacGregor³⁵, evidências de interações intermoleculares entre β -glucanas e arabinoxilanas também pode gerar polêmicas no método de determinação, uma vez que a enzima liquenase, ao aumentar a flexibilidade e a difusão das cadeias em solução, também pode facilitar o contato entre fragmentos de celulose e os blocos xilanos não substituídos nas cadeias de arabinoxilanas. Caso estas interações sejam numerosas, uma precipitação pode ocorrer, gerando algumas controvérsias quanto aos resultados obtidos.

Com relação ao teor de amido (Tabela 1), houve bom ajuste ao modelo estatístico ($R = 0,96$) com diferença significativa ($p \leq 0,0001$) entre os dois cultivares analisados. Os resultados encontrados concordam com os descritos por alguns autores^{12, 36} e foram menores que os relatados por Czuchajowska⁶, no entanto, estão entre os valores médios encontrados na literatura.

Embora a diferença entre os dois cultivares aponte para o maior conteúdo de amido no cultivar cervejeiro, para alguns autores^{9, 25} a variedade nua destaca-se quanto aos teores deste polissacarídeo quando comparada ao cultivar cervejeiro. As diferenças ocorrem devido à remoção da casca fibrosa, a qual seria responsável pelo efeito de diluir estes componentes. De acordo com Bhatt³⁷ na casca estão contidos principalmente celulose, hemicelulose, ligninas e pectinas, o que contribuiria para o conteúdo de fibra alimentar total na cevada.

O conteúdo de amido obtido, assim como o de fibra alimentar total e insolúvel (Tabela 1) apresentaram-se maiores no cultivar cervejeiro, estes valores podem ser atribuídos à incompleta retirada da casca, a qual ainda aderida ao grão de cevada, pode ter contribuído para o aumento significativo dos valores. Já com relação as fibras alimentares solúveis, por serem formadas em grande parte por componentes presentes nas paredes celulares do grão³⁸ e não no pericarpo e casca, estes valores não teriam sofrido influência do processamento.

Para os demais componentes do grão avaliados neste trabalho, houve correlação negativa (Tabela 2) entre os teores de proteína e amido ($r = -0,33$, $p \leq 0,31$). Esta correlação já havia sido encontrada por Aman e Newman³⁹ ao estudarem diferentes cultivares de cevada na Suécia e Montana (EUA). Li e colaboradores¹¹ também encontraram valores de correlação negativa entre proteína e amido ($r = -0,84$, $p \leq 0,01$) em 10 cultivares de cevada nua analisados.

Esta correlação negativa sofreu significativo aumento quando levado em consideração somente o cultivar nu ($r = -0,57$, $p \leq 0,22$) (Tabela 2). Sua alteração pode ser atribuída a diferença significativa para os valores médios de proteína e amido nos dois cultivares analisados (Tabela 1).

O cultivar nu apresentou o maior teor de proteínas (Tabela 1), indo de encontro aos valores citados por Oscarsson²⁵ e Xue⁹ e também por aqueles citados por Li¹¹.

O cultivar cervejeiro destacou-se com uma quantidade significativamente maior de amido total (Tabela 1). Esta diferença pode ser devido ao fato de ser um cultivar cervejeiro, já registrado e utilizado para a produção de cerveja no país, o que requer teores elevados de amido. Maiores quantidades de amido, aumentam sua conversão

em açúcares fermentáveis através do ataque de enzimas específicas. Este processo é essencial na fabricação de cerveja.⁴⁰

Para os teores de amido danificado na farinha de cevada, foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os dois cultivares analisados (Tabela 1). O cultivar cervejeiro apresentou a maior quantidade de amido danificado e, embora não tenha apresentado uma correlação significativa (Tabela 2) com relação ao teor de amido total na amostra, seu valor significativamente maior pode ter contribuído em parte, para a maior quantidade de amido danificado na farinha de cevada.

Tester e Morrison⁴¹ afirmam que para a farinha de trigo, os níveis de amido danificado estão diretamente relacionados ao tempo de moagem, ou seja, sua porcentagem aumenta significativamente quanto maior o tempo de moagem, o que é uma característica de extrema importância para a fabricação de pães, pois o amido danificado torna-se extremamente acessível para a enzima α -amilase.

Os teores de amido danificado nos cultivares do presente trabalho, estão de acordo com aqueles encontrados por Tester e Morrison⁴¹ nas farinhas submetidas aos menores tempos de moagem. No entanto, a avaliação da relação entre amido danificado e sua influência nos aspectos tecnológicos para a formulação de produtos a base de cevada no Brasil, ainda necessita de estudos mais aprofundados.

3.2 Isolamento e composição química do amido

O isolamento do amido de cevada é conhecido pelo consumo de tempo, pela quantidade de água empregada e pelas sucessivas etapas de lavagem com água requeridas durante o processo de purificação.⁴²

Neste estudo, a média obtida para a eficiência de extração foi de 38,8% e 33,3% para o amido de cevada cervejeira e nua respectivamente. Apesar da média de extração ser proporcional ao conteúdo de amido na farinha de cevada (Tabela 1), estes valores encontram-se abaixo daqueles descritos por Li e colaboradores¹¹ e You e Isydorczyk⁴³.

Este comportamento pode ter ocorrido em função da presença de β -glucanas nas farinhas, as quais produzem alta viscosidade em soluções aquosas^{12, 17} dificultando o

processo de isolamento do amido. Além deste fator, grânulos pequenos de amido podem ter sido perdidos durante o processo de extração e purificação do amido.¹² Cabe também lembrar que o método de escolha neste trabalho, partiu da farinha de cevada e não do grão inteiro^{11, 43}, o que pode ter sido um fator essencial no rendimento da extração.

Estudos realizados por Zheng e Bhatt⁴⁴ utilizando uma enzima comercial (Roxazyme-G) na extração de amido de quatro cultivares de cevada nua, comprovaram que este método foi capaz de reduzir a viscosidade de 50-99% para 30-60%, além disso a média do rendimento de amido, cresceu de 46% para 50%, com uma pureza de 98%. Os autores acreditam que a enzima tenha destruído, em grande parte, as β -glucanas presentes.

Para Grant⁴⁵, ainda hoje, existe a necessidade de estudos comparativos que descrevam as principais diferenças nos métodos de isolamento empregado e, como estas afetam as propriedades químicas e físico-químicas do amido isolado.⁴⁵

As composições químicas dos amidos obtidos encontram-se resumidas na Tabela 3. Pode-se observar que houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para os teores de amido, proteínas, lipídios, amilose e cinzas, não havendo diferenças significativas para os teores de β -glucanas. Este comportamento para os teores de β -glucanas, bem como sua baixa quantidade no amido, pode ser atribuída a sua parcial solubilidade em água^{17, 26, 29, 35}, ocorrida durante o isolamento do amido provocando, em parte, sua extração ou perda no processo de isolamento.

Tabela 5 – Composição química do amido isolado nos cultivares brasileiros de cevada¹

Cultivar	Amido*	Proteínas*	Lipídios*	β -glucanas*	AM [†]	Cinzas
Nu	94,67 ^a	1,08 ^a	0,19 ^a	0,07 ^a	37,54 ^a	0,29 ^a
Cervejeiro	96,84 ^b	1,22 ^b	0,23 ^b	0,06 ^a	43,60 ^b	0,50 ^b

* Resultados expressos em base seca (%)

¹ Médias seguidas por letras iguais indicam não haver diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

[†] Análises em DSC

Embora o amido isolado tenha contido valores de amido total elevados (Tabela 3) e que vão de encontro aos citados na literatura^{6, 11}, ao contrário de Li¹¹ e Czuchajowska⁶, o teor de proteínas, bem como o de cinzas, não foram tão baixos

(Tabela 4), devendo-se levar em consideração a diferença entre os métodos de escolha utilizados para o isolamento do amido e às características de cada cultivar utilizado.

De acordo com McDonald e Stark⁴², é reconhecidamente dificultoso a remoção de proteínas no procedimento de isolamento de amido, uma vez que estas, muitas vezes, são parte integrante do interior do grânulo e não podem ser removidas nem com rigorosos métodos de purificação.

Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) quanto ao teor de lipídios (Tabela 4), ficando o cultivar cervejeiro com o maior teor. Estes valores foram de encontro aqueles encontrados por Li e colaboradores¹¹. O conteúdo lipídico é muito sensível aos efeitos do ambiente. Nos amidos de cevada e trigo, por exemplo, elevadas temperaturas de crescimento, podem aumentar a quantidade de lipídios^{46, 47}. No entanto, a quantidade de lipídios complexados a amilose, parece aumentar com o aumento das condições de temperatura.⁴⁸

O conteúdo de amilose (Tabela 3) neste estudo, apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$) para os dois cultivares avaliados. O cultivar cervejeiro destacou-se com um conteúdo total de 43,60% de amilose, valor semelhante aos cultivares pesquisados por Li¹¹ e aos cultivares com alto teor de amilose caracterizados por You e Izydorczyk.⁴³ Entretanto, superior aos valores encontrados por Bhatti e Rosnagel.¹² Já o cultivar nu, apresentou valores inferiores de amilose (37,54%), ficando com teor intermediário entre os cultivares normais e com alto teor de amilose pesquisados por You e Izydorczyk⁴³ e também com valor intermediário entre os cultivares de cevada nua pesquisados por Li¹¹.

De acordo com extensa pesquisa realizada por MacGregor e Fincher³⁸, comparativamente, os cultivares utilizados neste trabalho, estariam entre os cultivares classificados como cultivares com alto teor de amilose (acima de 30%), sendo comparado aos valores encontrados por outros autores.^{6, 8, 49-52} Para Buléon⁵³ estes cultivares podem conter maior quantidade de lipídios e a extração, purificação e secagem do amido facilmente induziriam a formação do complexo amilose-lipídio.

A Tabela 4, ilustra a correlação existente entre a amilose e lipídios ($r = 0,45$, $p \leq 0,05$). Esta correlação já era esperada, uma vez que os lipídios presentes no amido, sob a forma de fosfolipídios, tendem a formar complexos de inclusão com a amilose. A

formação deste complexo, pode afetar algumas das características do amido, tais como: poder de inchamento e solubilidade,^{46, 49, 54-56} temperatura de gelatinização^{47, 57} e propriedades de pasta.^{8, 58, 59}

Tabela 6 – Coeficiente de correlação para os valores da composição química do amido de cevada nua e cervejeira

[Nú e Cerv]	Amido	b-glucanas	Lipídios	Amilose
Proteína	0,21 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,41*
Amido	--	-0,006 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,11 ^{ns}
β-glucanas		--	0,64**	0,07 ^{ns}
Lipídios			--	0,45*

[Nu]	Amido	b-glucanas	Lipídios	Amilose
Proteína	-0,34 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Amido		-0,34 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,34 ^{ns}
β-glucanas			-0,40 ^{ns}	-0,42 ^{ns}
Lipídios				0,36 ^{ns}

*, ** valores significativos ao nível de 5% e 1%, respectivamente. ^{ns}, não significativo

Comparativamente, a quantidade de amido nos genótipos analisados (Tabela 1) e seu respectivo conteúdo de amilose vai de encontro aos valores encontrados por You e Izydorczyk⁴³ em genótipos com alto teor de amilose. De acordo com alguns autores^{24, 43, 60}, genótipos de cevada com uma faixa de amilose-amilopectina fora dos padrões comumente encontrados (70/30), contêm, em geral, menores quantidades de amilose, isto porque parece que a presença de genes céreos (> 70%) ou com alto teor de amilose, podem substancialmente afetar o metabolismo de carboidratos no grão.

Poucos cultivares com alto teor de amilose são conhecidos e, de acordo com McDonald⁶¹, nesta classe de cultivares, nos grânulos pequenos de amido estariam contidos o maior teor de amilose, ficando os grânulos grandes com o menor teor, ao contrário dos grânulos de amido de cevada normal.

Do ponto de vista cervejeiro, existem poucos trabalhos relatando a susceptibilidade enzimática de amido com alto teor de amilose.³⁸ Merrif⁶², relata que em cultivares de cevada com alto teor de amilose, estes são hidrolisados mais rapidamente pelas α -amilases do que amidos de cevada normal. Porém, ainda há controvérsias, ao passo que Bjork⁶³ relatam que estes cultivares, são igualmente resistentes a ação destas enzimas.

Para Tester e Karkalas,⁴⁶ a composição do amido é muito suscetível a variação ambiental, especialmente a temperatura de crescimento. No arroz, por exemplo, elevadas temperaturas de crescimento diminuem o conteúdo de amilose.⁶⁴

No entanto, na cevada, Tester⁴⁷ afirma que embora o conteúdo de amilose não sofra grandes alterações, o conteúdo lipídico tende a aumentar em genótipos céreos, normais e com alto teor de amilose, também em função da temperatura. As razões para este comportamento, ainda não são claras e necessitam ser estudadas.

3.3 Microscopia eletrônica de varredura

As micrografias eletrônicas observadas nas Figuras 1 e 2 mostram o amido isolado obtido através do procedimento citado no item 2.4. Os grânulos de amido do cultivar de cevada cervejeiro (Figura 1-A) e nu (Figura 1-B) consistem em sua maioria, de uma mistura de grânulos grandes e lenticulares e alguns pequenos com forma irregular.

Os grânulos grandes apresentaram um diâmetro médio entre 15-28 μm e os pequenos, ficaram entre 8-10 μm . Estes resultados estão de acordo com àqueles relatados por MacGregor e Fincher.³⁸ A microscopia eletrônica de varredura mostrou que os cultivares possuem uma grande proporção de grânulos A.

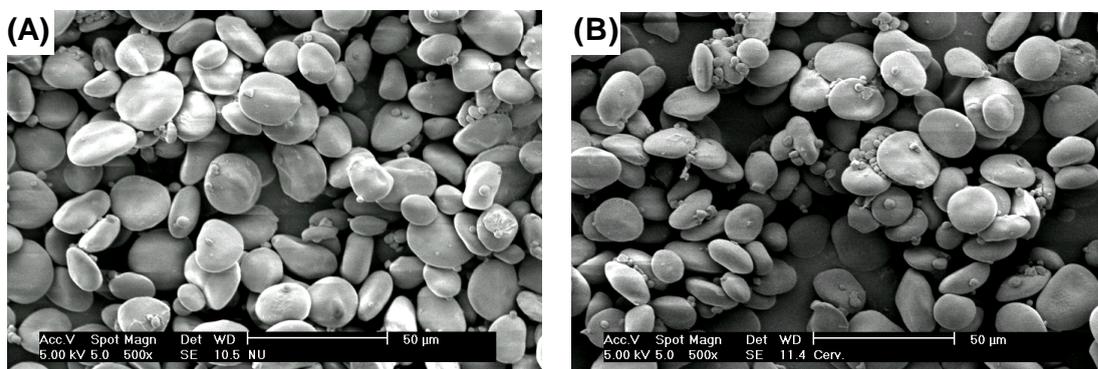


Figura 7 - Microscopia eletrônica de varredura dos amidos isolados dos cultivares brasileiros de cevada. (A) Cultivar cervejeiro (B) Cultivar Nu.

Pode-se observar e confirmar através das análises químicas empregadas (Tabela 3), que o amido possui em sua superfície, proteínas agregadas e detectadas através do método químico, as quais podem não ter sido completamente retiradas devido às características inerentes de cada cultivar e, ainda devido ao método de escolha para o isolamento do amido.

Com relação ao tamanho dos grânulos, de acordo com Tester e Karkalas⁴⁶ as condições de crescimento parecem afetar diretamente o tamanho dos mesmos, sendo que elevadas temperaturas de crescimento tendem a diminuir o tamanho e/ou o número de grânulos de amido na cevada.⁴⁷

3.4 Poder de inchamento e solubilidade

O comportamento do aspecto funcional, neste caso, o poder de inchamento (PI) e solubilidade (S) em função da temperatura para os amidos isolados, estão ilustrados nas Figuras 5 e 6, respectivamente. Os valores de PI, variaram entre 7,8 – 13,36 (37,54 % de amilose) para o amido de cevada nua e 7,5 – 10,7 (43,60% de amilose) para o amido de cevada cervejeira. Os mesmos estão de acordo com valores encontrados na literatura,^{6, 8, 38} onde amidos de cevada com maior conteúdo de amilose possuem menor poder de inchamento.

O aumento no poder de inchamento nos amidos foi gradual, porém ao atingir a temperatura de 85 °C, o amido de cevada nua sofreu o maior aumento quando comparada ao amido de cevada cervejeira. A solubilidade (Figura 3) apresentou comportamento similar para os dois amidos. Este comportamento foi constante até atingir a temperatura de 75 °C, a partir de então, o amido de cevada nua sofreu um decréscimo no valor de sua solubilidade, seguido por novo aumento ao atingir a temperatura de 85 °C.

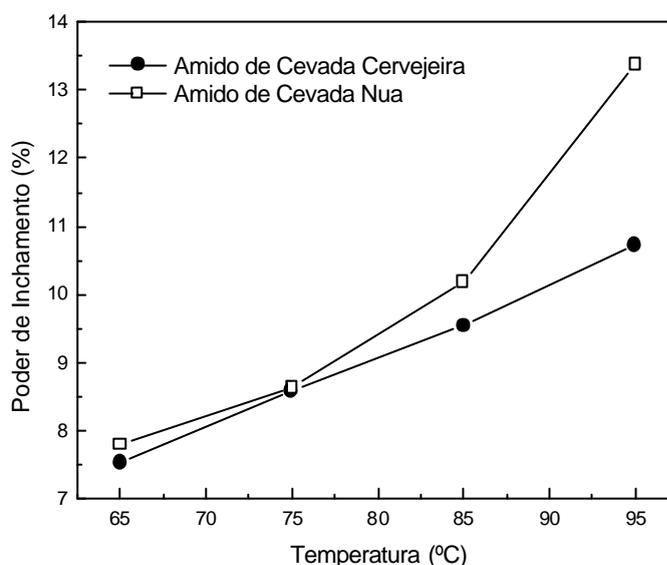


Figura 8 - Poder de inchamento do amido de cevada cervejeira e nua

De acordo com Morrison e colaboradores⁶⁵ a amilose e o conteúdo lipídico possuem um significativo efeito na capacidade de inchamento do grânulo, quando este é aquecido em excesso de água. Entretanto, o amido com alto teor de amilose não incha tanto quanto o amido de cevada normal, isto porque parece que a amilopectina é a fração responsável pelo inchamento, sendo a amilose o fator diluente. Esta afirmação concorda com os resultados obtidos neste estudo para o poder de inchamento (Figura 1). No entanto, para alguns autores,⁴⁹ além das afirmações citadas, o nível de cadeias de amilose complexadas aos lipídios presentes, também parecem influenciar no inchamento e solubilidade dos amidos.

Tester e Morrison⁴⁹ diferenciam a amilose livre e amilose complexada aos lipídios e afirmam que a amilose ligada aos lipídios pode ser capaz de reduzir o poder de inchamento, enquanto a amilose livre pode aumentar o poder de inchamento. Entretanto, a conformação da amilose livre no grânulo de amido nativo não é conhecida, podendo também estar parcialmente envolvida em duplas hélices com cadeias curtas de amilopectina nas regiões cristalinas, o que pode gerar algumas controvérsias.⁵³

O conteúdo total de amilose, neste estudo, foi determinado por calorimetria diferencial de varredura (DSC), uma alternativa nova, rápida e eficaz, a qual possibilita a determinação em amido sem etapas prévias de desengorduramento.²⁰ Porém, diferenças quanto aos valores e, estudos mais aprofundados com relação as divergências entre os métodos, ainda não estão totalmente esclarecidas, ficando este aspecto a cargo de escolha entre os autores.

As diferenças significativas ($p \leq 0,05$) observadas para o conteúdo de amilose nos amidos de cevada utilizados (Tabela 3) parecem ir de encontro às afirmações apresentadas pelos autores anteriormente, o que leva-nos a concluir que o cultivar de cevada nua, com menor conteúdo de amilose, apresentou o maior poder de inchamento.

Alguns estudos confirmam os resultados obtidos: Yasui e colaboradores⁴ estudaram uma linha mutante de cevada nua e cérea a 70 °C e observaram que o amido livre de amilose apresentou o maior poder de inchamento entre os amidos analisados. Além disso, o poder de inchamento do amido céreo foi negativamente correlacionado com o conteúdo de amilose ($r = -0,93$).

Tester e Morrison⁴⁹ avaliaram o poder de inchamento de amido de cevada cérea e normal a 80 °C e também constataram uma correlação negativa ($r = -0,86$) entre amido céreo e o conteúdo de amilose, porém os autores observaram que embora os valores de correlação tenham sido bons, quando o amido livre de amilose foi excluído dos cálculos, o coeficiente de regressão entre o conteúdo de amilose e o poder de inchamento pareceu diminuir para $-0,867$. Indicando que a inclusão de amilose livre no amido foi responsável pelos valores altos de correlação no amido céreo.

Tang e colaboradores⁵² avaliaram a estrutura e funcionalidade de grânulos pequenos, médios e grandes de amido de cevada c erea e normal. O poder de inchamento foi avaliado a 70  C e os autores verificaram que o mesmo variou de 10,8 – 16,4 para grânulos de amido normal e 13,8 – 25,7 para grânulos de amido c ereos, sendo que os grânulos de amido maiores ficaram com os menores valores de inchamento seguidos pelos grânulos médios e pequenos.

Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que para uma determinada população de grânulos de amido, todas as formas de ordem (cristalina, lamelar, orientacional) são perdidas ou modificadas em uma determinada faixa de temperatura. Portanto, a heterogeneidade durante este processo ocorre como o resultado de uma concentração de gradiente, ou seja, os grânulos que incham primeiro (pequenos) reduzem a quantidade de água disponível para o inchamento dos demais grânulos, neste caso, os grânulos maiores, resultando em menores valores no inchamento.⁶⁶

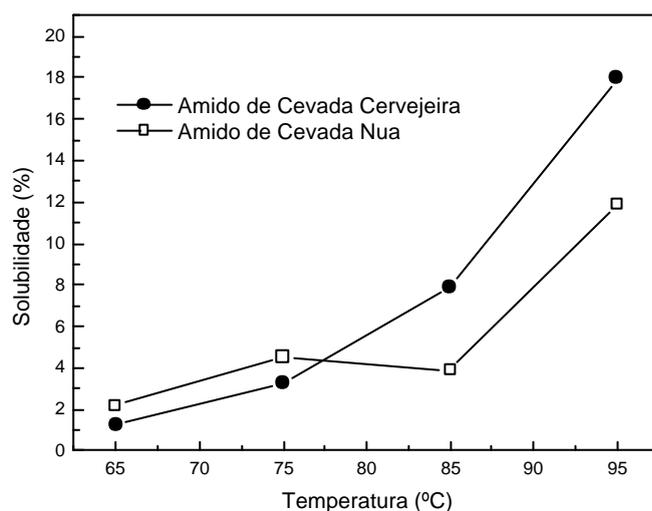


Figura 9 -  ndice de solubilidade para o amido de cevada (*Hordeum vulgare* L.) em água (p/p).

De acordo com a Figura 3, pode-se observar que a cevada cervejeira apresentou os maiores valores para a solubilidade. Este comportamento pode ser explicado pelo fato da amilose atuar como um fator diluente no inchamento do grânulo,^{67, 68} ou seja, a sua presença foi capaz de aumentar a solubilidade no amido de cevada cervejeira.

Porém, o decréscimo da solubilidade ao atingir a temperatura de 75 °C seguida pelo aumento aos 85 °C, podem ser explicados em parte, pela distribuição dos grânulos de amido bimodal e sua heterogeneidade na solução.⁶⁶

Concluindo, a relação entre o poder de inchamento e solubilidade (Figura 4) demonstra que o amido de cevada nua apresentou os maiores valores para o poder de inchamento, ficando o amido de cevada cervejeira com os maiores valores de solubilidade. Todas as diferenças entre o poder de inchamento e solubilidade podem ser atribuídas a um ou a conjunção dos seguintes fatores: (a) o nível de cadeias de amilose complexada aos lipídios presentes^{38, 49} (b) conteúdo total de amilose⁴³ (c) extensão da interação entre as cadeias de amido com domínios amorfos e cristalinos.⁶⁶ Além destes fatores, que altas proporções de cadeias longas (grau de polimerização ≥ 35) de moléculas de amilopectina podem contribuir no aumento do inchamento, enquanto que o conteúdo de proteínas⁶⁹ e monoglicérides⁷⁰ são capazes de inibi-lo.⁵⁶

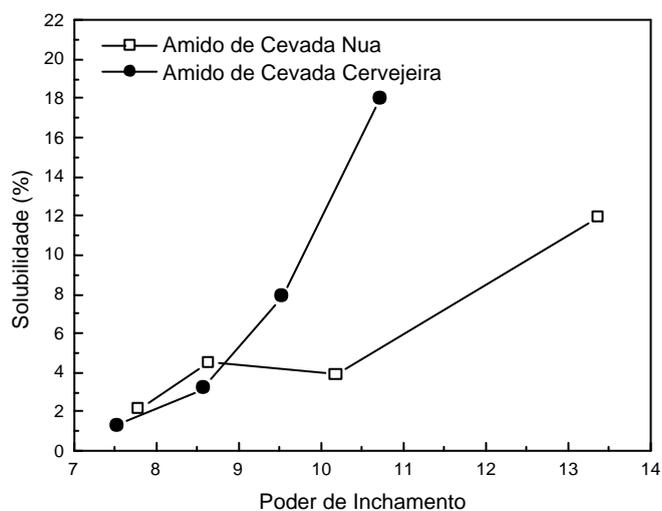


Figura 10 - Relação entre o poder de inchamento e solubilidade do amido de cevada (*Hordeum vulgare* L.) nas temperaturas de 65°C, 75°C, 85°C e 95°C

4 CONCLUSÃO

A farinha de cevada nua e cervejeira, bem como o amido isolado das mesmas, possuem diferenças significativas quanto a sua composição físico-química e, no caso do amido, diferenças também quanto à morfologia do grânulo e aspectos funcionais. Estas diferenças parecem estar diretamente ligadas a influência genética e ambiental dos cultivares analisados.

As farinhas obtidas apresentaram dados de correlação e composição química que as colocam dentro dos padrões internacionais de aceitabilidade, podendo estes cultivares serem fontes de nutrientes em potencial, especialmente quanto ao conteúdo de β -glucanas, uma fibra solúvel, com efeitos hipocolesterolêmicos comprovados cientificamente.

O amido de cevada nua apresentou o maior poder de inchamento e este comportamento parece estar relacionado ao menor conteúdo de amilose presente no grânulo. Além disso, as diferenças entre o aspecto funcional podem ser atribuídas a forma como esta amilose está presente no grânulo.

As diferenças nas propriedades químicas, elucidam algumas das suas propriedades funcionais e podem ser atribuídas, em parte, ao método de isolamento e a diferenças genéticas e ambientais de cada cultivar.

O amido de cevada quando comparado a outros (trigo, milho) possui características similares que permitiriam que o seu uso fosse implementado, bastando para isto o investimento em pesquisas que visassem seu melhoramento para determinado fim. O emprego de amido de cevada pode ser realizado pela indústria alimentícia, farmacêutica e ainda na elaboração de embalagens biodegradáveis. Seu destino irá depender das características desejáveis e seu uso também pode estender-se quando outros ingredientes não são disponíveis ou na extensão de desenvolvimento e produção de novos ingredientes.

Agradecimentos

A indústria SL-Alimentos Cereais, Ltda. situada em Mauá da Serra, PR e a Cooperativa Agrária entre Rios, PR pelo fornecimento das amostras de cevada nua e cervejeira, respectivamente. Ao projeto CYTED e a CAPES pelo auxílio financeiro.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 BHATTY, R. S. Nonmalting uses of barley. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St.Paul, Minnesota, USA.: American Association of Cereal Chemists, 1993. p. 356-403
- 2 MINELLA, E. Melhoramento da cevada. In: UFV. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: 1999. p. 254-272
- 3 JOOD, S.; KALRA, S. Chemical composition and nutritional characteristics of some hull less and hulled barley cultivars grown in India. **Die Nahrung**, v.45, n.1, p.35-39, 2001.
- 4 YASUI, T.; SEGUCHI, M.; ISHIKAWA, N.; FUJITA, M. Starch properties of a waxy mutant line of hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.). **Starch/Starke**, v.54, p.179-184, 2002.
- 5 ANDERSSON, A. A. M.; ANDERSSON, R.; AUTIO, K.; AMAN, P. Chemical composition and microstructure of two naked waxy barleys. **Journal of Cereal Science**, v.30, p.183-191, 1999.
- 6 CZUCHAJOWSKA, Z.; KLAMCZYNSKI, A.; PASZCZYNSKA, B.; BAIK, B.-K. Structure and functionality of barley starches. **Cereal Chemistry**, v.75, n.5, p.747-754, 1998.
- 7 YOSHIMOTO, Y. T., T.; TAKEDA, Y. Molecular structure and some physicochemical properties of waxy and low-amylose barley starches. **Carbohydrate Polymers**, v.47, p.159-167, 2002.
- 8 SONG, Y.; JANE, J. Characterization of barley starches of waxy, normal, and high amylose varieties. **Carbohydrate Polymers**, v.41, p.365-377, 2000.
- 9 XUE, Q. W., L.; NEWMAN, R.K.; NEWMAN, C.W.; GRAHAM, H. Influence of the Hullless, waxy starch and short-awn genes on the composition of barleys. **Journal of Cereal Science**, v.26, p.251-257, 1997.
- 10 LI, J. H.; VASANTHAN, T.; ROSSNAGEL, B.; HOOVER, R. Starch from hull-less barley: II. Thermal, rheological and acid hydrolysis characteristics. **Food Chemistry**, v.74, n.4, p.407-415, 2001.
- 11 _____. Starch from hull-less barley: I. Granule morphology, composition and amylopectin structure. **Food Chemistry**, v.74, n.4, p.395-405, 2001.

12 BHATTY, R. S. The potential of hull-less barley. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.589-599, 1999.

13 RANHOTRA, G. S.; GELROTH, J. A.; ASTROTH, K.; EISENBRAUN, G. J. Effect of resistant starch on intestinal responses in rats. **Cereal Chemistry**, v.68, n.2, p.130-132, 1991.

14 SAMBUCETTI, M. E.; ZULETA, A. Resistant starch in dietary fiber values measured by the AOAC method in different cereals. **Cereal Chemistry**, v.73, n.6, p.759-761, 1996.

15 MANTHEY, F. A.; HARELAND, G. A.; HUSEBY, D. J. Soluble and Insoluble Dietary Fiber Content and Composition in Oat. **Cereal Chemistry**, v.76, n.3, p.417-420, 1999.

16 BHATTY, R. S. Hull-less barley bran: a potential new product from an old grain. **Cereal Foods World**, v.40, n.11, p.819-823, 1995.

17 DE FRANCISCO, A.; DE SÁ, R. M. Beta-glucanas - Localização, propriedades e utilização. In: CYTED. **Fibra alimentar en Iberoamérica - Projeto XI-6**. Equador: 2000.

18 HECKER, K. D.; MEIER, M. L.; NEWMAN, R. K.; NEWMAN, C. W. Barley β -glucan is effective as a hypocholesterolaemic ingredient in foods. **Journal of the Science and Food Agriculture**, v.77, p.179-183, 1998.

19 AACC. **American Association of Cereal Chemists - Approved Methods**. 9ed. St. Paul, Minnesota: AACC, 1996.

20 MESTRES, C.; MATENCIO, F.; PONS, B.; YAJID, M.; GFLIEDEL, G. A rapid method for the determination of amylose content by using differential-scanning calorimetry. **Starch/Starke**, v.48, n.1, p.2-6, 1996.

21 MORRISON, W. R.; MILLIGAN, T. P.; AZUDIN, M. N. A relationship between the amylose and lipid contents of starches from diploid cereals. **Journal of Cereal Science**, v.2, n.4, p.257-271, 1984.

22 SCHOCH, J. T. Swelling power and solubility of starch granules. In: WHISTLER, R. J. S., R.J.; WOLFROM, M.L. **Methods in Carbohydrates Chemistry**. New York, USA: Academic Press, 1964. p. 106-108

23 SATHE, S. K.; SALUNKE, D. K. Isolation, partial characterization and modification of the greath northern bean (*Phaseolus vulgaris*) starch. **Journal of Food Science**, v.46, n.4, p.617-621, 1981.

- 24 BHATTY, R. S.; ROSSNAGEL, B. G. Comparison of pearled and unpearled Canadian and Japanese barleys. **Cereal Chemistry**, v.75, p.15-21, 1998.
- 25 OSCARSSON, M.; PARKKONEN, T.; AUTIO, K.; AMAN, P. Composition and microstructure of waxy, normal and high amylose barley samples. **Journal of Cereal Science**, v.26, p.259-264, 1997.
- 26 KNUCKLES, B. E.; CHIU, M. M.; BETSCHART, A. A. β -glucan-enriched fractions from laboratory-scale dry milling and sieving of barley and oats. **Cereal Chemistry**, v.69, n.2, p.198-202, 1992.
- 27 YOKOYAMA, W. H.; HUDSON, C. A.; KNUCKLES, B. E.; CHIU, M. C.; SAYRE, R. N.; TURNLUND, J. R.; SCHEENAN, B. O. Effect of barley β -glucan in durum wheat pasta on human glycemic response. **Cereal Chemistry**, v.74, n.3, p.293-296, 1997.
- 28 YOON, S. H.; BERGLUND, P. T.; FASTNAUGHT, C. E. Evaluation of Selected Barley Cultivars and their fractions for beta-glucan Enrichment and Viscosity. **Cereal Chemistry**, v.72, n.2, p.187-190, 1995.
- 29 ZHANG, G. C., J.; WANG, J.; DING, S. Cultivar and environmental effects on (1-3, 1-4)- β -D-glucan and protein content in malting barley. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.295-301, 2001.
- 30 LEE, C. J.; HORSLEY, R. D.; MANTHEY, F. A.; SCHWARZ, P. B. Comparisons of β -glucan content of barley and oat. **Cereal Chemistry**, v.74, n.5, p.571-575, 1997.
- 31 DUFFUS, C. M.; OCHRANE, M. P. Formation of the barley grain - morphology, physiology, and biochemistry. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St.Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1993. p. 31-72
- 32 LEHTONEN, M.; AIKASALO, R. β -glucan in two and six-rowed barley. **Cereal Chemistry**, v.64, p.191-192, 1987.
- 33 IZYDORCZYK, M. S.; STORSLEY, J.; LABOSSIERE, D.; MACGREGOR, A. W.; ROSSNAGEL, B. G. Variation in total and soluble β -glucan content in hullless barley: effects of thermal, physical, and enzymic treatments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.48, p.982-989, 2000.
- 34 ZHANG, G.; CHEN, J.; WANG, J. Variation in barley endosperm β -glucan content in three barley cultivars as a function of spike number and within-spike position. **Journal of Cereal Science**, v.35, p.99-101, 2002.

- 35 IZYDORCZYK, M. S.; MACGREGOR, A. W. Evidence of intermolecular interactions of β -glucans and arabinoxylans. **Carbohydrate Polymers**, v.41, p.417-420, 2000.
- 36 YADAV, S. K.; LUTHRA, Y. P.; SOOD, D. R.; SINGH, D. Carbohydrate make up of huskey barley. **Starch/Starke**, v.52, n.4, p.125-128, 2000.
- 37 BHATTY, R. S. The potential of hull-less barley. **Cereal Chemistry**, v.63, p.97-103, 1986.
- 38 MACGREGOR, A. W.; FINCHER, G. B. Carbohydrates of the barley grain. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St. Paul, Minnesota - USA: AACCC, 1993. p. 73-128
- 39 AMAN, P.; NEWMAN, C. W. Chemical composition of some different types of barley grown in Montana, U.S.A. **Journal of Cereal Science**, v.4, n.2, p.133-141, 1986.
- 40 BAMFORTH, C. W.; BARCLAY, A. H. P. Malting technology and uses of malt. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1993.
- 41 TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Properties of Damaged Starch Granules. V. Composition and Swelling of Fractions of Wheat Starch in Water at Various Temperatures. **Journal of Cereal Science**, v.20, p.175-181, 1994.
- 42 MCDONALD, A. M. L.; STARK, J. R. A critical examination of procedures for the isolation of barley starch. **Journal of the Institute of Brewing**, v.94, p.125-132, 1988.
- 43 YOU, S.; IZYDORCZYK, M. S. Molecular characteristics of barley starches with variable amylose content. **Carbohydrate Polymers**, v.49, n.1, p.33-42, 2002.
- 44 ZHENG, G. H. B., R.S. Enzyme-assisted wet separation of starch from other seed components of hull-less barley. **Cereal Chemistry**, v.75, p.247-250, 1998.
- 45 GRANT, L. A. Effects of Starch Isolation, Drying, and Grinding Techniques on Its Gelatinization and Retrogradation Properties. **Cereal Chemistry**, v.75, n.5, p.590-594, 1998.
- 46 TESTER, R. F.; KARKALAS, J. The effects of Environmental Conditions on the Structural Features and Physico-chemical Properties of Starches. **Starch/Starke**, v.53, p.513-519, 2001.
- 47 TESTER, R. F. Influence of growth conditions on barley starch properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.21, p.37-45, 1997.

48 MORRISON, W. R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Foods World**, v.40, n.6, p.437-446, 1995.

49 TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and Gellatinization of Cereal Starches. III Some properties of Waxy and Normal Nonwaxy Barley Starches. **Cereal Chemistry**, v.69, n.6, p.654-658, 1992.

50 YOSHIMOTO, Y.; TAKENOUCI, T.; TAKEDA, Y. Molecular structure and some physicochemical properties of waxy and low-amylose barley starches. **Carbohydrate Polymers**, v.47, n.2, p.159-167, 2002.

51 ZHENG, G. -H.; BHATTY, R. S. Enzyme-Assited Wet Separation of Starch from Other Seed Components of Hull-less Barley. **Cereal Chemistry**, v.75, n.2, p.247-250, 1998.

52 TANG, H.; WATANABE, K.; MITSUNAGA, T. Structure and functionality of large, medium and small granule starches in normal and waxy barley endospems. **Carbohydrate Polymers**, v.49, n.2, p.217-224, 2002.

53 BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. G. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.23, p.85-112, 1998.

54 TESTER, R. F.; MORRISON, W. R.; SCHULLMAN, A. H. Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. V. Riso Mutants of Bomi and Carlsberg II Barley Cultivars. **Journal of Cereal Science**, v.17, p.1-9, 1993.

55 TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. **Cereal Chemistry**, v.67, n.6, p.558-563, 1990.

56 SASAKI, T.; MATSUKI, J. Effect of wheat starch structure on swelling power. **Cereal Chemistry**, v.75, p.525-529, 1998.

57 TESTER, R. F.; KARKALAS, J. Swelling and Gelatinization of Oat Starches. **Cereal Chemistry**, v.73, n.2, p.271-277, 1996.

58 TAKAHASHI, S.; SEIB, P. A. Paste and gel properties of prime corn and wheat starches with and without native lipids. **Cereal Chemistry**, v.65, n.6, p.474-483, 1988.

59 REDDY, I.; SEIB, P. A. Paste properties of modified starches from partial waxy wheats. **Cereal Chemistry**, v.76, n.3, p.341-349, 1999.

60 OSCARSSON, M.; ANDERSSON, R.; SALOMONSSON, A. C.; AMAN, P. Chemical composition of barley samples focusing on dietary fibre components. **Journal of Cereal Science**, v.24, p.161-170, 1996.

61 MCDONALD, A. M. L.; STARK, J. R.; MORRISON, W. R.; ELLIS, R. P. The composition of starch granules from developing barley endosperms. **Journal of Cereal Science**, v.13, p.93-112, 1991.

62 MERRIT, N. R. The susceptibility of cereal starches to amylolysis during germination and maturation. **Journal of Institute of Brewing**, v.75, p.277-283, 1969.

63 BJORCK, I.; ELIASSON, A. C.; DREWS, A.; GUDMUNSSON, M.; KARLSSON, R. Some Nutritional Properties of starch and dietary fiber in barley genotypes containing different levels of amylose. **Cereal Chemistry**, v.67, n.4, p.327-333, 1990.

64 ASAOKA, M.; OKUNO, K.; SUGIMOTO, Y.; KAWAKAMI, J.; FUWA, H. Effect of Environmental temperature during development of rice plants on some properties of endosperm starch. **Starch/Starke**, v.36, p.189-193, 1984.

65 MORRISON, W. R.; SCOTT, D. C.; KARKALAS, J. Variation in the composition and physical properties of barley starches. **Starch/Starke**, v.38, n.11, p.374-379, 1986.

66 PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.1-17, 2001.

67 MORRISON, W. R.; TESTER, R. F.; SNAPE, C. E.; LAW, R.; GIDLEY, M. J. Swelling and gelatinization of cereal starches. IV. Some effects of lipid-complexed amylose and free amylose in waxy and normal barley starches. **Cereal Chemistry**, v.70, n.4, p.385-391, 1993.

68 JANE, J.; XU, A.; RADOSAVLJEVIC, M.; SEIB, P. A. Location of amylose in normal starch granules. I. Susceptibility of amylose and amylopectin to cross-linking reagents. **Cereal Chemistry**, v.69, n.4, p.405-409, 1992.

69 WANG, L.; SEIB, P. A. Australian salt-noodle flours and their starches compared to us wheat flours and their starches. **Cereal Chemistry**, v.73, p.167-175, 1996.

70 ROACH, R. R.; HOSENEY, R. C. Effect of certain surfactants on the swelling, solubility and amylograph consistency of starch. **Cereal Chemistry**, v.72, p.571-577, 1995.

CAPÍTULO 3

AMIDO DE CEVADA (*Hordeum vulgare* L.) EM CULTIVARES BRASILEIROS: II – ANÁLISE TÉRMICA, MICROSCÓPICA E REOLOGICA

Trabalho a ser submetido para a Revista “Cereal Chemistry”

Parte deste trabalho está submetida à apresentação na XXVI Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química

SOARES, R.M.D. **Caracterização parcial de amido em cultivares Brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RESUMO

Neste trabalho foram analisadas as propriedades térmicas, microscópicas e reológicas do amido isolado de cultivares brasileiros de cevada. Dois cultivares foram selecionados: um cultivar nu, ainda em caráter experimental no país e um cervejeiro (BR-2). A composição química do amido isolado bem como o rendimento do isolamento manteve-se dentro dos limites estipulados na literatura. Os resultados demonstraram haver diferença significativa ($p \leq 0,05$) quanto à temperatura de gelatinização, destacando-se o cultivar cervejeiro com as maiores faixas de temperatura ($T_0 = 58,0$ °C; $T_p = 62,7$ °C, $T_f = 67,4$ °C). O estudo de retrogradação (8 dias de estocagem/ 4 °C) revelou que os dois cultivares apresentaram elevado teor de retrogradação. As propriedades de pasta confirmaram os resultados obtidos através de experimentos de solubilidade e inchamento, realizados na primeira parte deste trabalho. As curvas de fluxo caracterizaram o amido isolado como dilatante. Os experimentos oscilatórios demonstraram que G' e G'' comportaram-se de maneira semelhante durante o aquecimento e resfriamento da suspensão de amido. Os valores de $\tan \delta$ diminuíram a medida que G' e G'' aumentavam comprovando a formação de gel. Os maiores valores de G'/G'' e $\tan \delta$ foram encontrados no cultivar nu. Foi possível verificar que o amido de cevada apresentou características compatíveis com a literatura e comparável a outros cereais. Sua aplicação para determinado fim deve ser levada em consideração pela indústria alimentícia e não alimentícia.

Palavras-chave: amido de cevada, reologia, propriedades térmicas

SOARES, R.M.D. **Caracterização parcial de amido em cultivares Brasileiros de cevada (*Hordeum vulgare* L.)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ABSTRACT

Thermal properties, microscopic and rheological properties of starch isolated from Brazilian barley cultivars were investigated in this work. Two cultivars were selected for this purpose: a hull-less (naked) barley cultivar (IAC-IBON 86012-421) still in experimental stage and malting barley (BR-2). The barley chemical composition and its starch yield dates were according to literature. There was a significant difference ($p \leq 0.05$) for gelatinization temperature range between both cultivars. The retrogradation values revealed that both starches had an elevated retrogradation range. The pasting properties confirmed results obtained from swelling power and solubility made in the first part of this work. Flow curves indicated a dilatant (shear-thickening) pattern. Oscillatory experiments showed that G' and G'' had a similar behavior during heating/cooling experiments for starch suspensions at different temperatures. As $\tan \delta$ values decreased as G' and G'' increased and this process was possibly related with gel formation. The highest values of G'/G'' and $\tan \delta$ were found in hull-less barley starches. In conclusion, it was possible verify that starches from Brazilian barley cultivars had a good potential for food and non-food applications.

Keywords: barley starch, rheology, thermal properties

1 INTRODUÇÃO

A cevada, dentro da Europa e da América, assim como o trigo, centeio e amaranto, é considerada uma perspectiva devido ao potencial como fonte de amido para a indústria.¹⁻⁷ O amido de cevada, em particular, pode ser obtido com conteúdo de amilose variando entre 1-10% (cultivares céreos) até 35-40% (alto teor de amilose).^{8, 9} Esta variação depende, sobretudo, do objetivo final desta matéria-prima, a qual pode ser melhorada geneticamente para fins específicos, ou ainda, depender somente das condições genéticas e ambientais da região de cultivo. No entanto, o estudo de fatores ambientais, ainda carece de muitas comprovações científicas, porém com relação a temperatura de crescimento, estudos relatam que este parâmetro é o fator primordial no aspecto quantitativo de alguns constituintes, entre estes a amilose e os lipídios.¹⁰⁻¹²

As propriedades funcionais deste biopolímero, muito importante em alimentos, dependem de uma série de fatores, tais como: conteúdo de amilose,¹³⁻¹⁶ comprimento das cadeias laterais de amilopectina,¹⁷⁻¹⁹ formato e distribuição dos grânulos de amido,²⁰⁻²² método de escolha utilizado para o isolamento²³⁻²⁶ e ainda os componentes químicos residuais no amido purificado.²⁷

Por outro lado, características intrínsecas, como temperatura de gelatinização, propriedades de pasta e propriedades reológicas também dependem dos fatores acima citados, além de estarem relacionados com as condições ambientais de cultivo.²⁸⁻³⁴

Durante a gelatinização, o amido perde a cristalinidade e a birrefringência, os grânulos incham irreversivelmente e a liberação da amilose ocorre. Como consequência, os grânulos inchados ficam retidos em uma matriz de moléculas de amilose interpenetrável. Os géis de amido, são resultantes de uma rede interconectada que possui estados de desequilíbrio, dando origem à transformação da estrutura (agregação de cadeias, recristalização) durante períodos de estocagem; todos estes aspectos são descritos como retrogradação. Este fator é de considerável importância na indústria de alimentos, uma vez que possui implicações diretas na textura e digestibilidade de alimentos contendo amido.³⁵⁻⁴²

Em se tratando de aproveitamento industrial e aspectos reológicos, o amido, além de ser o maior constituinte polissacarídico dos cereais, possui baixo custo e, é o

agente dilatante e gelificante mais amplamente utilizado na indústria de alimentos. Isto porque sua atividade dilatante resulta do inchamento do grânulo ocorrendo em faixas próximas à temperatura de gelatinização. Em razão disto, o processamento do amido ainda não é suficientemente conhecido e, muitos parâmetros podem estar relacionados com suas propriedades.⁴³⁻⁴⁸

Além da ampla faixa de respostas reológicas, suas propriedades são influenciadas pela modificação química, presença de outros componentes (lipídios, proteínas, açúcares) e também as condições do tratamento térmico (condições de cisalhamento, taxa de aquecimento, temperatura, concentração).⁴⁹ Em reologia, as curvas de fluxo e os métodos dinâmicos viscoelásticos utilizando experimentos oscilatórios, fornecem importantes parâmetros de discussão e tem sido amplamente investigadas.^{39, 50-52} Muitos trabalhos têm sido realizados onde parâmetros como: concentração de amido, composição química, conteúdo de amilose são avaliados e, também relacionados com o comportamento reológico.⁵²⁻⁵⁴ As respostas obtidas: G' , G'' e $\tan \delta$; fornecem informações quanto ao comportamento deste polímero no processamento industrial e, indiretamente possuem relevância na aceitabilidade pelo consumidor.⁴⁵

Com base no exposto, o presente trabalho tem por objetivos: 1) Analisar e comparar as propriedades térmicas do amido nativo isolado em dois cultivares brasileiros de cevada; 2) Avaliar sua retrogradação durante determinado período de estocagem; 3) estudar as propriedades de pasta e reológicas deste amido em solução.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Isolamento do amido e análises químicas

O isolamento do amido e as análises químicas foram realizados de acordo com os procedimentos descritos no capítulo 2, item 2.5.

2.2 Propriedades térmicas

As propriedades térmicas do amido foram determinadas utilizando-se um DSC-7 (Perkin Elmer Corp., Norwalk, CT) calibrado com índio e fluxo de nitrogênio de 15 mL min⁻¹. Foram realizadas corridas de 25 °C até 120 °C com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹.

As suspensões aquosas de amido (25% m/m) foram preparadas diretamente nas panelinhas de alumínio, sendo estas lacradas e armazenadas a temperatura ambiente por 3 horas antes da realização das análises. Uma panelinha vazia foi utilizada como referência. Foram coletados dados da temperatura inicial (T_i), pico (T_p) e temperatura final (T_f), além da entalpia de gelatinização (ΔH). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.2.1 Retrogradação do amido

As amostras anteriormente submetidas à análise de DSC, foram estocadas à 4°C por um período de 8 dias. As mesmas foram então novamente analisadas quanto a retrogradação de amido, utilizando-se para tal os mesmos parâmetros e instrumentos citados no item 2.2. A porcentagem de amido retrogradado foi calculada de acordo com a equação 1.⁵⁵

$$\%R = \frac{\Delta H_{ret}}{\Delta H_{gel}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

onde,

% R = porcentagem de retrogradação

ΔH_{ret} = variação de entalpia do amido retrogradado

ΔH_{gel} = variação de entalpia na gelatinização do amido

2.3 Microscopia óptica (MO)

A visualização do comportamento dos grânulos de amido em função da temperatura, foi realizada em microscópio óptico de luz polarizada, modelo Jenaval, marca Karl Weiss com sistema de controle digital de temperatura (Microquímica, modelo MQSCDT-31). As suspensões de amido (10%) foram preparadas minutos antes da realização do experimento e o experimento foi conduzido em taxa de aquecimento de $2\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$.

2.4 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta dos amidos de cevada foram determinadas utilizando-se um viscosímetro *Rapid Visco Analyser* (RVA) (modelo RVA-4, Newport Scientific, Austrália). As análises foram realizadas seguindo a metodologia da AACC 76-21. Foram preparadas suspensões de amido e água (10% m/m) (base seca). A massa total de amido e água foi de 28g. A suspensão preparada foi equilibrada à 30°C e aquecida até $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ numa faixa de $6\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, mantida a $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 5,5 minutos, resfriada a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-6\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ e finalmente mantida a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 2 minutos. A suspensão foi agitada a 160 rpm durante todo o experimento.

2.5 Reologia

As propriedades reológicas das suspensões de amido foram realizadas em triplicata utilizando um reômetro TA-Instruments (Modelo AR 1000-N, TA Instruments, EUA) operado com geometria de pratos paralelos (60cm de diâmetro) e um espaçamento de 1mm, este espaçamento foi constante para todas as amostras.

Para a realização das curvas de fluxo as soluções de amido (6% m/m) foram pré-aquecidas em banho-maria sob agitação constante durante 5 min. Foram realizadas curvas de fluxo, variando-se a taxa de cisalhamento para todas as determinações.

Os parâmetros obtidos através da reologia dinâmica em experimentos oscilatórios, tais como módulo de armazenagem (G'), módulo de perda (G'') e fator de perda ($\tan \delta$) foram determinados. A tensão e a frequência foram de 20 Pa e 10Hz, respectivamente para todos os experimentos.

Para estes experimentos, as suspensões de amido (10% m/m) em triplicata, foram pré-aquecidas a 40 °C e estabilizadas durante 5 min. e posteriormente foram colocadas no reômetro. A rampa de aquecimento foi de 40 a 95 °C numa taxa de 2 °C min⁻¹ e resfriamento de 95 °C a 25 °C numa taxa de - 5 °C min⁻¹.

2.6 Análise Estatística

Os dados foram analisados utilizando-se o procedimento GLM do programa SAS System para Windows versão 8 (SAS Institute Inc., Cary, NC). Foi realizada análise de variância (ANOVA) para verificar existência de diferenças significativas entre as médias. A análise de variância foi conduzida ao nível de 5% de probabilidade, considerando-se significativo $p \leq 0,05$. Foi realizada análise de correlação dos parâmetros para os dados obtidos através das análises térmicas do amido nativo e retrogradado. Todas as análises foram conduzidas em triplicatas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades térmicas do amido isolado

A composição química do amido isolado e suas propriedades de gelatinização dos amidos analisados por calorimetria diferencial de varredura (DSC) estão resumidas na Tabela 1 e 2.

Pode-se observar que houve diferença significativa na temperatura de gelatinização (T_p) entre os dois amidos analisados ($p \leq 0,05$). Os resultados vão de encontro aos citados na literatura, para a faixa de temperatura na qual ambos gelatinizaram^{1, 13, 15, 20-22, 37, 56-62} e o maior valor de gelatinização para o amido nu sugere que a ordem e o grau de cristalinidade são maiores neste quando comparado ao amido de cevada cervejeira.⁶³

Tabela 7 - Componentes químicos do amido isolado

Cultivar	Amido*	Proteínas*	Lipídios*	b-glucanas*	AM [†]	Cinzas
Nu	94,67 ^a	1,08 ^a	0,19 ^a	0,07 ^a	37,54 ^a	0,29 ^a
Cervejeiro	96,84 ^b	1,22 ^b	0,23 ^b	0,06 ^a	43,60 ^b	0,50 ^b

* Resultados expressos em base seca (%)

[†] Médias seguidas por letras iguais indicam não haver diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

[†] Análises realizadas em DSC (Calorimetria diferencial de varredura)

Tabela 8 – Propriedades Térmicas dos amidos nativos de cevada

Cultivar	Endoterma de Transição				
	T_i^*	T_p^*	T_f^*	$T_f - T_i^*$	ΔH^*
Cervejeiro	55,3 ^a	59,4 ^a	65,9 ^a	10,5 ^a	6,02 ^a
Nu	58,0 ^b	62,7 ^b	67,4 ^a	9,41 ^a	6,83 ^a

* T_i , T_p , T_f = Temperatura inicial, pico e final ($^{\circ}\text{C}$), respectivamente; $T_f - T_i$ = Temperatura final menos temperatura inicial; ΔH = variação de entalpia (J/g);

Médias seguidas por letras iguais indicam não haver diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade

Do ponto de vista cervejeiro, maiores temperaturas iniciais de gelatinização limitam a hidrólise do amido pelas amilases e sua conversão a álcool. Este comportamento deve-se ao fato de que nos cultivares submetidos a condições

ambientais mais frias, o amido gelatiniza a temperaturas menores facilitando o completo inchamento e gelatinização necessários para a ação das enzimas. Portanto, a indústria cervejeira perde sob dois diferentes aspectos, caso o estudo das condições ambientais não seja criteriosamente avaliado: temperaturas de crescimento maiores irão reduzir a síntese de amido, substrato essencial para a produção do álcool e, secundariamente, o amido pode não estar totalmente gelatinizado nas temperaturas de mistura ou trituração (64-65 °C), o que irá dificultar a hidrólise pelas amilases.¹²

Apesar do amido isolado do cultivar cervejeiro (BR-2) neste trabalho, ter apresentado temperaturas iniciais (T_i) de gelatinização maiores, quando comparadas a outros cultivares^{11, 12}, sua temperatura final (T_f) de gelatinização foi menor. Em outras palavras, a faixa de temperatura na qual este processo ocorre foi menor, porém está dentro do limite estipulado para a completa conversão do amido em álcool. Embora não tenha havido diferença significativa com relação aos valores de entalpia de gelatinização (ΔH) e variação de temperatura ($T_f - T_i$), o amido de cevada nua demonstrou possuir maior faixa de gelatinização, quando comparada ao amido de cevada cervejeira (Tabela 2).

A diferença significativa entre as temperaturas de gelatinização nos amidos, pode ser atribuída a uma série de fatores, entre estes: o método para o isolamento do amido^{25, 64}; conteúdo e estrutura de amilose e amilopectina e seu arranjo dentro dos domínios amorfos e cristalinos do grânulo,^{37, 55, 62, 63} tamanho (A/B), forma e distribuição dos grânulos de amido;^{1, 17, 20, 21, 59} diferenças genéticas de cada cultivar e condições climáticas de cultivo;^{1, 10, 12} quantidade de lipídios complexados com amilose e contidos no grânulo;^{12, 14, 65-68} presença de componentes minoritários.⁶³

Song e Jane¹⁵ relataram que as diferenças entre as temperaturas iniciais de gelatinização entre amido de milho e cevada devem-se ao maior comprimento das cadeias laterais de amilopectina no milho. Estas se desenvolveriam dentro de cristalitos maiores, os quais requereriam maiores temperaturas iniciais de gelatinização.

Portanto, a gelatinização, por tratar-se de um fenômeno complexo, invariavelmente é um fenômeno que requer o estudo de diferentes parâmetros, através de diferentes técnicas.³⁵

Com relação ao teor de lipídios detectados neste tipo de amido (Tabela 1), embora sua quantidade tenha sido relativamente baixa, quando comparada a literatura⁶⁹, de acordo com Morrison^{70, 71}, estes componentes podem estar presentes no amido sob diferentes formas: lipídios internos, lipídios de superfície e lipídios remanescentes. Morrison e colaboradores⁵⁷ afirmam que o amido de cevada contém aproximadamente 1% de lipídios, e que estes são, em sua maioria, lisofosfolipídios (LPL). Já a amilose estaria presente no grânulo sob duas formas: a amilose livre de lipídios (FAM) e a amilose complexada aos lipídios (LAM). Cada uma destas porções, juntamente com as diferentes formas de lipídios, atuaria separadamente ou em conjunção, nas propriedades térmicas do amido,²² o que leva-nos a afirmar que o completo entendimento das características individuais de cada componente e a diferença entre os métodos de detecção dos mesmos pode levar-nos a diferentes resultados experimentais.

Para os valores de amilose, a análise estatística dos dados do amido de cevada nua e cervejeira demonstrou haver uma correlação positiva significativa entre seus valores e a entalpia de gelatinização ($r = 0,51$, $p \leq 0,05$) (Tabela 3). As demais correlações significativas demonstradas na Tabela 3, já eram esperadas.

Resultado similar foi encontrado por Yasui e colaboradores⁶² ao estudarem uma linhagem mutante cética de cevada nua, utilizando o amido de cevada normal como padrão. Os autores observaram uma correlação entre o conteúdo de amilose, temperatura inicial de gelatinização (T_i), pico de gelatinização (T_p) e entalpia de gelatinização (ΔH). No entanto, ao correlacionarem somente o amido cético, não observaram correlação significativa entre o conteúdo de amilose e a temperatura de gelatinização. Os autores atribuíram este comportamento ao fato de que a temperatura de gelatinização para o amido cético, requer maior quantidade de energia e ocorre em maiores temperaturas, quando comparada ao amido de cevada normal.

A correlação positiva e significativa observada neste trabalho para o conteúdo de amilose e entalpia de gelatinização nos amidos de cevada (Tabela 3), também foi observada por Franco e colaboradores⁵⁵ e sugere em parte e indiretamente, a quantidade de energia requerida para gelatinização da ordem cristalina da amilopectina.

Tabela 9 - Coeficiente de correlação entre o conteúdo de amilose e as propriedades térmicas dos amidos de cevada gelatinizados e retrogradados

Amido	T _p	T _f	T _f - T _i	DH	Amilose
[Gelatinizado]					
T _i	0,09 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,49*	-0,02 ^{ns}	0,25 ^{ns}
T _p	-	0,49*	0,40**	0,47*	0,26 ^{ns}
T _f		-	0,95***	-0,04 ^{ns}	0,09 ^{ns}
T _f -T _i			-	-0,02 ^{ns}	0,0 ^{ns}
DH				-	0,51*
[Retrogradado]					
T _i	0,59****	0,20 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
T _p	-	0,37 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,49*	0,08 ^{ns}
T _f		-	0,95***	-0,18 ^{ns}	0,03 ^{ns}
T _f -T _i			-	-0,21 ^{ns}	0,06 ^{ns}
DH				-	-0,18 ^{ns}

*, **, ***, **** valores significativos ao nível de 5%, 1%, 0.05% e 2,5%, respectivamente; ns = não significativo

Considerando-se que um dos elementos essenciais para o processo de gelatinização é a perda da ordem cristalina e que cadeias lineares curtas de amilose cristalizam-se prontamente sob condições apropriadas,³⁵ pode-se sugerir que esta correlação demonstra, não somente a energia necessária para o rompimento da ordem cristalina da amilopectina, como também a energia necessária para o rompimento da ordem cristalina de cadeias curtas de amilose. A correlação poderia tornar-se maior ou menor, dependendo da quantidade de cultivares analisados, do conteúdo de amilose nestes cultivares e ainda da variação de entalpia envolvida no processo de gelatinização dos mesmos.

Para os valores de entalpia de gelatinização no presente estudo, o cultivar nu (37,54% de amilose) apresentou o maior ΔH quando comparado ao cultivar cervejeiro (43,60% de amilose) (Tabela 1 e 2). Estes valores concordam com aqueles encontrados na literatura,^{15, 37, 59, 62} onde cultivares com alto teor de amilose apresentam valores de

ΔH menores que os demais. Embora neste trabalho não tenham sido avaliados cultivares céreos e normais, os valores de entalpia de gelatinização nestes cultivares parece sofrer variações, o que leva-nos a sugerir que o conteúdo de amilose, embora seja capaz de romper a ordem estrutural dos cristalitos de amilopectina⁷² não é o único parâmetro determinante na entalpia de gelatinização. Jane e colaboradores⁶⁴ relataram que amidos céreos são conhecidos por requererem maiores entalpias de gelatinização, no entanto, amidos de milho com comprimento de cadeia lateral longa e amido de batata também apresentam valores maiores para entalpia de gelatinização, indicando desta forma, que maiores quantidades de energia são requeridas para a gelatinização dos cristalitos das cadeias laterais longas.

De maneira geral, a gelatinização é um fenômeno que pode ser estudado sob os mais diferentes aspectos, para alguns pesquisadores o comprimento das cadeias envolvidas na estrutura cristalina juntamente com a disponibilidade do conteúdo de água é um fator de extrema relevância na fusão da estrutura³⁵, outros pesquisadores avaliam o tamanho dos grânulos de amido e afirmam que seu tamanho está diretamente relacionado com os valores de ΔH .^{21, 37, 59} Para Li³⁷ esta última afirmação deve-se, sobretudo: a desordem das duplas hélices das cadeias curtas de amilopectina; desordem das cadeias de duplas hélices formadas pela interação entre amilose e amilopectina e finalmente, pelo desordenamento dos resíduos de complexos entre amilose e lipídios.

Outros estudos⁷³ indicam que a entalpia de gelatinização (ΔH_{gel}) reflete primeiramente a perda da ordem das duplas hélices ao invés da perda da cristalinidade no raio-X, enquanto para outros autores⁷⁴ a endoterma do DSC dá uma medida da qualidade cristalina (efetivamente o comprimento das duplas hélices) através do pico de gelatinização (T_p) e cristalinidade (qualidade x quantidade) do ΔH_{gel} .

A correlação dos parâmetros também demonstrouse significativa para os valores de entalpia de gelatinização (ΔH_{gel}) e pico de gelatinização (T_p) ($r = 0,47$, $p \leq 0,05$), valores estes já esperados e similares aos citados por Fujita e colaboradores⁷⁵ ao avaliarem a correlação dos parâmetros em amido de cevada normal e cérea.

Tang e colaboradores¹⁷ relataram que o conteúdo de amilose no amido de cevada também pode afetar a faixa de gelatinização ($T_f - T_i$) e formação dos cristais no

grânulo de amido. Os autores verificaram que as moléculas maiores de amilopectina, parecem possuir mais cadeias longas e menos cadeias tipo A, quando comparadas às cadeias de amilopectina pequenas, portanto, este comportamento poderia contribuir para a formação de redes cristalinas dentro do grânulo de amido.

Na tabela 4, pode-se verificar que houve diferença significativa com relação à faixa de transição de temperatura ($T_f - T_i$). Estas diferenças podem ser atribuídas ao grau de ramificação da amilopectina⁵⁶ ou ainda ao grau de heterogeneidade dos cristalitos de amido.³⁷

Tabela 10 – Propriedades Térmicas dos amidos de cevada retrogradados (estocados a 4°C/8 dias)

Endoterma de Transição						
Cultivar	T_i^*	T_p^*	T_f^*	$T_f - T_i^*$	DH*	%R
Cervejeiro	44,3 ^a	47,2 ^a	48,8 ^a	4,55 ^a	4,40 ^a	73,08
Nu	42,3 ^b	46,9 ^a	48,4 ^a	6,11 ^b	4,86 ^b	71,15

* T_i , T_p , T_f = Temperatura inicial, pico e final (°C), respectivamente; $T_f - T_i$ = Temperatura final menos temperatura inicial; ΔH = variação de entalpia (J/g);

... % R (Retrogradação) = $[\Delta H_{ret}/\Delta H_{gel}] \times 100$.

Médias seguidas por letras iguais indicam não haver diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade

Para o amido retrogradado (Tabela 4) foi verificado que o cultivar cervejeiro (43,60% de amilose) apresentou maior faixa de retrogradação em relação ao amido isolado do cultivar nu (37,54% de amilose) quando estocados 8 dias sob refrigeração (4 °C). Estes valores demonstram que houve uma retrogradação rápida quando comparados aos valores encontrados na literatura^{4, 18, 55} para o período de estocagem em questão. Contudo, fica implícita a necessidade de estudos complementares que averiguem o papel de aditivos alimentícios geralmente utilizados (NaCl, ácido cítrico, sacarose, glicose, frutose¹⁸) e suas implicações na retrogradação do amido de cevada isolado, além da necessidade de estudos utilizando diferentes períodos de estocagem, bem como temperaturas diferenciadas.

Os resultados sugerem que o cultivar cervejeiro, por possuir maior quantidade de amilose (Tabela 3) apresentou a maior porcentagem de retrogradação. O resultado já era esperado, uma vez que as moléculas lineares de amilose, presentes em maior

quantidade se reassociam e retrogradam com mais facilidade em relação à molécula de amilopectina, que possui maior dificuldade em se reordenar.^{76, 77}

Do ponto de vista nutricional o amido retrogradado equivale ao amido resistente tipo 3 (RS₃), ou seja, o amido estável termicamente⁷⁸ e o mais comumente utilizado em alimentos processados e portanto, muito importante do ponto de vista tecnológico.^{79, 80} A investigação de sua formação e fatores que afetam a mesma, bem como a possibilidade de aumentar o seu conteúdo em alimentos processados é de grande interesse para indústria alimentícia, particularmente no Brasil, onde esta área tem sido pouco explorada.

A porcentagem de retrogradação elevada em ambos, vai de encontro ao baixo poder de inchamento verificado na primeira parte deste trabalho e sugere, portanto, uma dificuldade na completa dispersão molecular⁷⁶, comportamento este que também pode ser atribuído a maior proporção de cadeias de amilopectina com grau de polimerização (DP) maior que 25 e a menor proporção de cadeias com DP entre 6-12.¹⁴ Para Perera e colaboradores⁶³ e Silvério e colaboradores⁷⁷ a redução dos valores de retrogradação em amido de milho e amidos de diferentes origens botânicas, deve-se as cadeias laterais curtas de amilopectina^{63, 77} e também à quantidade relativa de lipídios presentes no amido.⁶³

Contrariamente, Song e Jane¹⁵ ao analisarem cultivares com alto teor de amilose e baixa proporção de cadeias de amilopectina com grau de polimerização entre 18-21 encontraram taxas de retrogradação elevadas (70-78%) e atribuíram este valor a uma estrutura cristalina defeituosa que possibilitou a cristalização envolvendo as moléculas de amilose. Os trabalhos realizados e as afirmações dos autores levam-nos a sugerir que o fenômeno de retrogradação depende grandemente do conteúdo de amilose e do grau de polimerização das cadeias laterais de amilopectina (DP).

Já os baixos valores atribuídos as temperatura de gelatinização dos amidos retrogradados encontrados neste e em demais trabalhos^{14, 15, 63}, podem sugerir que a ordem e o grau de cristalinidade são menores quando o amido já foi gelatinizado uma vez. Embora neste trabalho o amido retrogradado não tenha apresentado faixa de transição de temperatura maior ($T_f - T_0$) em relação ao amido nativo, segundo Grant²⁵

esta também é uma evidência de que no amido gelatinizado a reassociação ocorre de uma forma estrutural e molecular muito mais fraca.

Alguns estudos³⁹ indicam que a retrogradação do amido é um processo que ocorre em três etapas: alongamento da cadeia devido à quebra das ligações intramoleculares as quais mantêm a configuração em hélice; perda de água, devido à re-orientação das moléculas e formação de ligações de hidrogênio entre as moléculas adjacentes. Entretanto, um implícito requerimento para a recristalização do amido é a disponibilidade de água. A mínima concentração requerida fica em torno de 27%, concentrações de água menores que 10% não permitem, por sua vez, a observação da retrogradação através do DSC.

Recentemente, trabalhos envolvendo modificações genéticas em cultivares de cereais^{16, 81} têm demonstrado que alterações nas características de síntese do amido ocorrem e geram diferentes propriedades de retrogradação do amido. Hayakama e colaboradores⁸¹ observaram que uma linhagem de amido de trigo céreo melhorada geneticamente apresentou aumento nos valores de ΔH ao serem estocadas a 4°C por um período de até três semanas. Estes valores foram confirmados através da difratometria de raios-X e, também indicaram a resistência destes cultivares a retrogradação.

Além da influência genética, inúmeros outros fatores podem ser citados, entre estes: faixa de amilose e amilopectina e sua estrutura molecular⁸², origem do amido, sua concentração, tempo de estocagem, adição e/ou presença de sal, ácidos, lipídios, surfactantes, açúcares^{56, 63, 77, 80, 83, 84} e ainda, a presença de ligações cruzadas.⁸⁵

No amido retrogradado assim como no amido gelatinizado houve correlação entre os valores de ΔH e pico de gelatinização (Tabela 4) ($r = 0,49$, $p \leq 0,05$), e como era esperado, também houve correlação entre a temperatura final de gelatinização (T_f) e faixa de temperatura na qual ocorreu a gelatinização ($T_f - T_i$) ($r = 0,95$, $p \leq 0,05$). Porém, ao contrário do amido gelatinizado, houve correlação significativa entre temperatura inicial de gelatinização (T_o) e o pico de gelatinização (T_p) ($r = 0,59$, $p \leq 0,25$). Este comportamento sugere que no amido retrogradado o reordenamento na faixa de temperatura em questão, pode estar acontecendo preferencialmente entre determinadas moléculas com grau de polimerização similar. Como o grau de

retrogradação foi alto, isto pode ter ocorrido devido ao comprimento das cadeias laterais de amilopectina, estas podem ter sido reordenadas na faixa entre o pico e a temperatura inicial de gelatinização.^{14, 63}

Estudos de correlação entre ΔH e amilopectina sugerem que cadeias com grau de polimerização entre 18-19 estão positivamente correlacionadas com a entalpia de gelatinização (ΔH) e estas cadeias são em parte responsáveis pelos valores mais elevados de retrogradação.⁷⁷

Para os valores de amilose no amido retrogradado, ao contrário do amido gelatinizado, não houve correlação com o valor de ΔH , este comportamento pode sugerir que, ao contrário do amido nativo, o amido já gelatinizado necessita de menor energia e sua recristalização ocorre a faixas menores de temperatura.⁶²

3.2 Microscopia óptica

As Figuras 1 e 2 mostram as fotomicrografias obtidas das dispersões de amido de cevada cervejeira e nua em diferentes temperaturas, respectivamente. Os amidos de cevada nua e cervejeira a 25°C (Figura 1 (A) e 2 (A)) contendo ainda a cruz de malta, demonstram estrutura e forma similares. Ao atingir os 45 °C (Figuras 1 (D) e 2 (D)) os grânulos tornam-se um pouco maiores, resultado da absorção inicial de água processo que ocorre simultaneamente à perda de birrefringência.

Ao atingir a temperatura de 55°C, temperatura inicial de gelatinização (T_0) do amido de cevada nua (Tabela 2), foi possível observar através da luz polarizada a perda de birrefringência de alguns grânulos (Figuras 1 e 2 (e)). Este processo inicial foi um pouco mais lento para o amido de cevada cervejeira (Figuras 1 (e) e (f)), o qual possui temperatura inicial de gelatinização ao redor dos 58 °C (Tabela 2). Porém ao atingir os 65 °C, os grânulos de amido na cevada cervejeira, apresentavam-se completamente inchados e sem a presença da cruz de malta (Figuras 1 (g) e (h)). Ao atingir os 75°C, já era possível observar através das micrografias (Figuras 1(i) e (j)) a perda da estrutura granular evidenciada através da interpenetração dos grânulos já completamente inchados.

Embora a visualização exata da temperatura na qual os grânulos perdem a cruz de malta tenha sido um pouco dificultosa, cabe notar que o inchamento do grânulo ocorre em consequência da absorção de água ocorrida durante o aquecimento. Nesta etapa, a amilose e o conteúdo lipídico possuem um significativo efeito na capacidade do amido em inchar, isto porque parece que a amilopectina é a fração responsável pelo inchamento.²⁷

Portanto, comparativamente, para os dois amidos nas temperaturas de 65°C (Figuras 2 e 3) nota-se que o amido de cevada nua, com menor conteúdo de amilose, apresenta-se mais inchado, concordando com a afirmação anterior.

Para o amido de cevada nua, foi possível observar através da Figura 2 (e) e (g), o início do inchamento dos grânulos, que ocorreu nas mesmas temperaturas iniciais de gelatinização (DSC). Adicionalmente, observa-se aos 60 °C (Figura 2 (g) e (h)), grande parte dos grânulos já gelatinizados, evidenciados através da perda da birrefringência. Aos 65 °C, os grânulos apresentam-se completamente inchados e sem qualquer birrefringência (Figuras 2 (i) e (j)). Estes resultados concordam com as análises de DSC, quanto aos valores iniciais e finais de gelatinização, portanto ilustram e confirmam o comportamento dos grânulos durante o aquecimento.

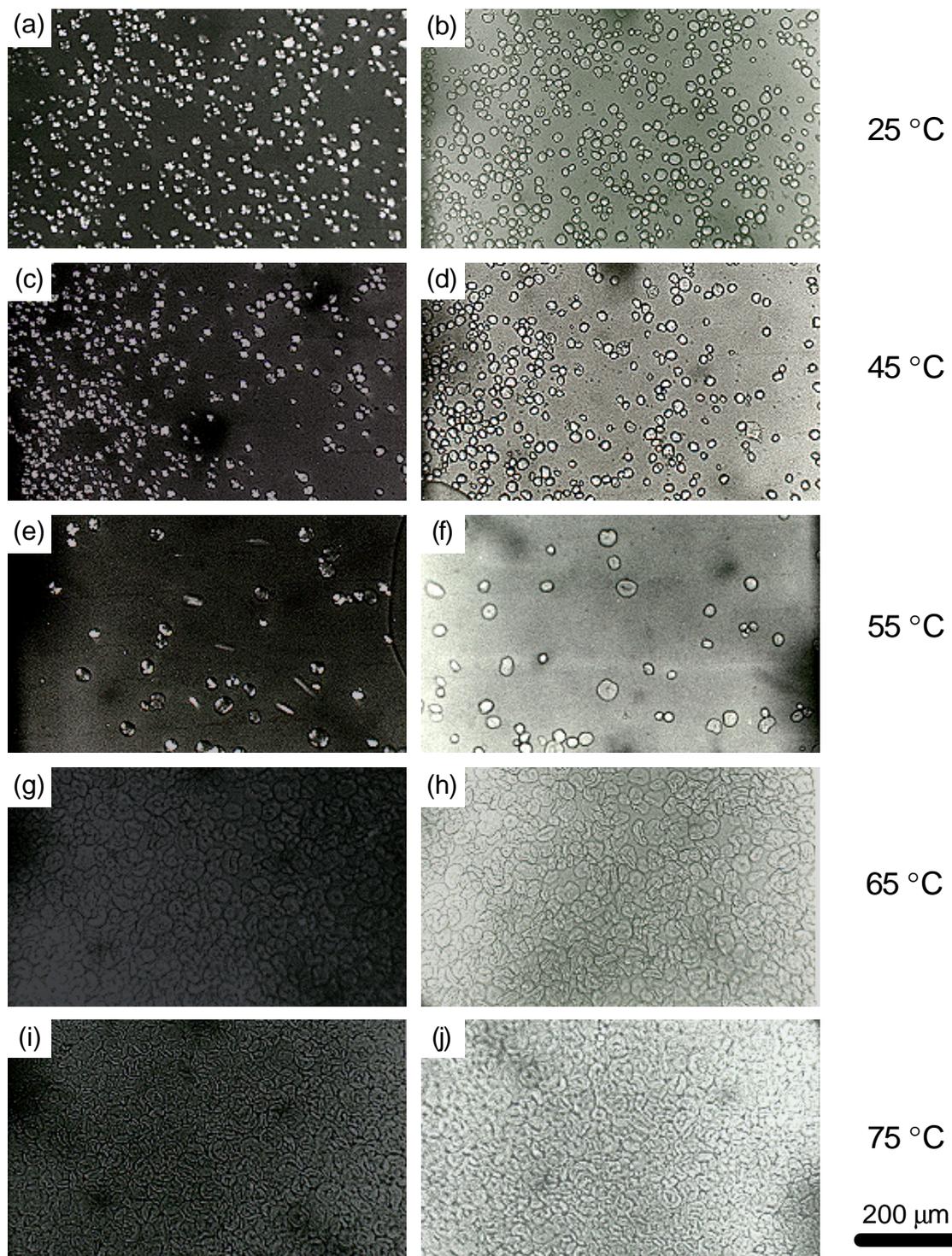


Figura 11 - Micrografias de microscopia de luz polarizada em amido de cevada cervejeira. (a), (c), (e), (g), (i): Com polarizador; (b), (d), (f), (h), (j): sem polarizador

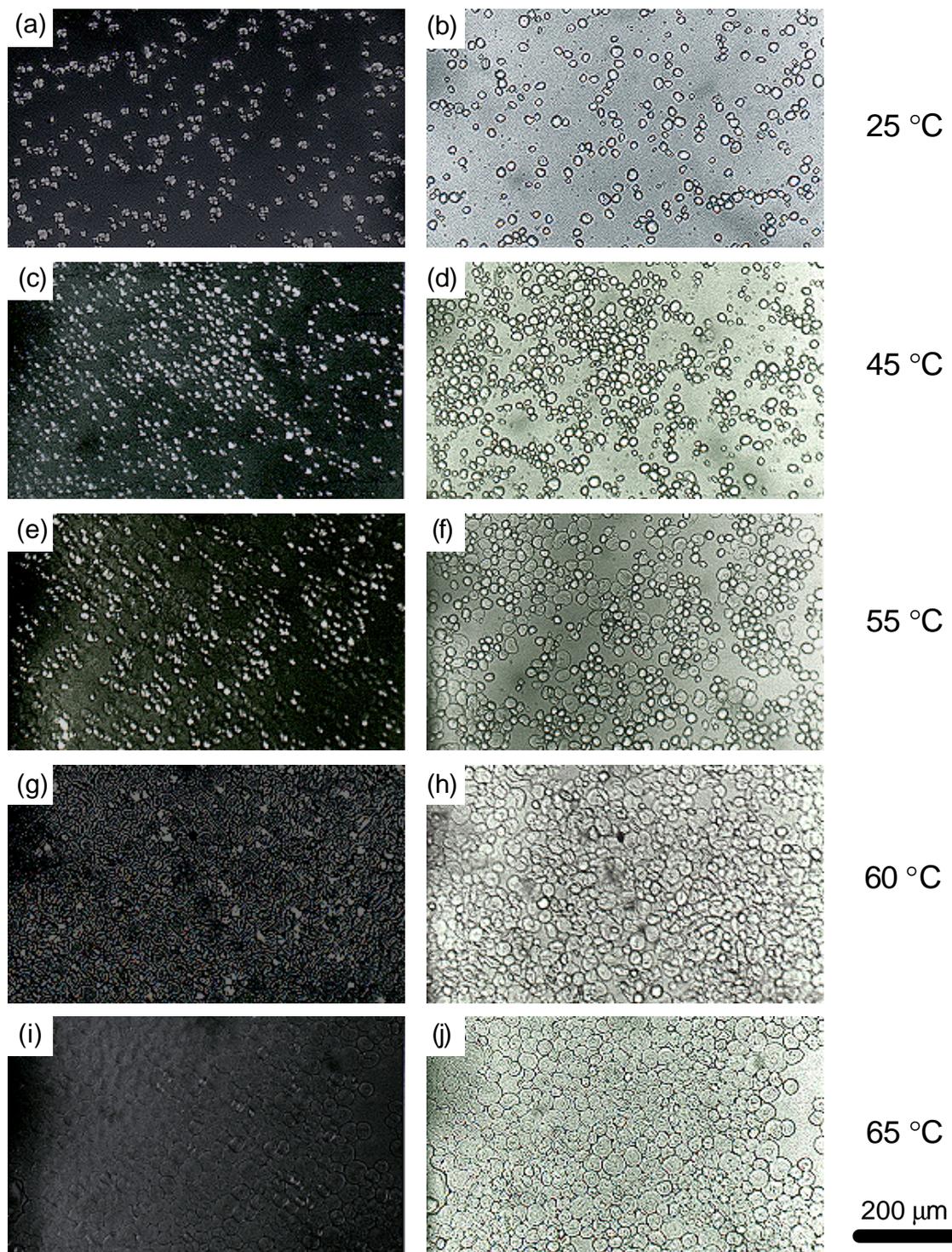


Figura 12 - Micrografias de microscopia de luz polarizada em amido de cevada nua. (a), (c), (e), (g), (i): Com polarizador; (b), (d), (f), (h), (j): sem polarizador

3.3 Propriedades de pasta

Os amilogramas de RVA para os amidos de cevada demonstram distinção entre suas propriedades de pasta (Tabela 5). O amido isolado do cultivar nu apresentou maior pico de viscosidade e, ao contrário dos demais trabalhos analisados^{14, 15, 55, 63, 86}, onde é freqüente a diferença entre as temperaturas de pasta, houve similaridade entre esta para os dois amidos analisados. O amido isolado do cultivar nu, além de destacar-se com elevado pico de viscosidade, também apresentou aumento na viscosidade final quando comparada ao cultivar cervejeiro.

Tabela 11 – Propriedades de pasta dos amidos isolados dos cultivares de cevada

Amido	P_{viscosidade} (RVU)	V_{final} (RVU)	Set Back	Breakdown	P_{tempo} (min.)	Pasta Temp. (°C)
C	125,05 ± 1,9	113,58 ± 1,1	55,02 ± 1,6	65,22 ± 2,2	5,62 ± 0,08	88,01 ± 0,8
N	168,99 ± 3,3	179,22 ± 0,9	63,25 ± 2,1	53,02 ± 0,9	6,31 ± 0,02	88,86 ± 0,8

^a Média e desvio padrão de três repetições por amostra
Suspensões (10%) de amido de cevada em base seca

Ao contrário dos amidos de cevada céreos,¹⁵ batata céreo⁸⁷ ou ainda outros cereais céreos,⁸⁴ os amidos do presente trabalho, não apresentaram baixos valores para as temperaturas de pasta que contrastassem com picos de viscosidade altos, isto sugere que a amilose, juntamente com o tamanho das cadeias laterais de amilopectina,⁵⁵ são as responsáveis pelas principais diferenças nas propriedades de pasta.

As cadeias laterais de amilopectina, quando longas, podem contribuir para o aumento no pico de viscosidade e redução nas temperaturas de pasta.^{55, 84} Sasaki e Matsui⁸⁸ sugerem também que um grande número de ligações de hidrogênio é formada entre as maiores cadeias de amilopectina e água, as quais contribuem para o aumento do inchamento dos grânulos de amido. Além da influência da amilose e da amilopectina nas propriedades de pasta do amido, o método de isolamento também parece influenciar nas propriedades de pasta.^{25, 84} A caracterização de amido de amaranto isolado por diferentes métodos revelou que diferentes métodos empregados, entre

estes: métodos alcalinos fortes e fracos⁸⁹ foram responsáveis pelas diferenças na viscosidade e na temperatura de pasta.⁸⁴

Sendo o amido do cultivar nu neste trabalho, constituído de menor quantidade de amilose (37,54%), e sendo a amilopectina a fração responsável pelo maior inchamento, o amido do cultivar nu, pôde inchar mais livremente e desenvolver maior pico de viscosidade, mesmo que em uma temperatura de pasta semelhante àquela do amido isolado do cultivar cervejeiro. Além deste fator, o complexo de inclusão formado entre a amilose e lipídios do amido, pode ter causado o aumento na temperatura de pasta.⁸⁴

A semelhança entre as temperaturas de pasta, pode ser atribuída a proximidade existente entre as faixas de temperatura de gelatinização de ambos¹⁴, embora a temperatura de pasta dependa de fatores adicionais tais como a concentração e da sensibilidade do viscoamílografo.⁴⁷ A relação entre temperatura de gelatinização e propriedades de pasta foi avaliada por Yoo e colaboradores¹⁴ visando a comparação trigo céreo e outras espécies. Os autores relataram que as diferenças entre as temperaturas de gelatinização entre o amido céreo de milho (64,1 °C) e amido céreo de trigo (55,1 °C) facilitaram a menor temperatura de pasta do amido de trigo céreo.

Os resultados das propriedades de pasta e o pico de viscosidade do presente trabalho vão de encontro ao poder de inchamento realizado na primeira parte deste trabalho. O cultivar nu desenvolveu o maior poder de inchamento, quando comparado ao cultivar cervejeiro, bem como o maior pico de viscosidade.

Outro aspecto fundamental vale ser lembrado: o amido isolado neste trabalho não apresentou conteúdo significativo de β -glucanas (Tabela1) e/ou lipídios, portanto sua influência na viscosidade final do amido pode ter sido mínima ou inexistente.

3.4 Propriedades reológicas

As propriedades reológicas dos amidos isolados de cevada nua e cervejeira, estão ilustradas nas Figuras 3, 4 e 5. Com base na Figura 3A e B, pode-se observar que nas curvas de fluxo dos amidos de cevada ocorre um aumento de viscosidade (η) em função da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) para várias temperaturas, sugerindo que o sistema é não-Newtoniano e possui um comportamento “*shear thickening*” ou dilatante.

O modelo de Herschel-Bulkley^{45,90} para fluidos não-Newtonianos baseia-se matematicamente na equação equação 1:

$$\tau - \tau_0 = K\gamma^n \quad (1)$$

Onde, τ é a tensão de cisalhamento, γ é a taxa de cisalhamento, τ_0 é a tensão de escoamento, K é o coeficiente ou índice de consistência e n é o índice de comportamento de fluxo. O valor calculado para n foi superior a 1, o que indica numericamente que o sistema possui um comportamento dilatante.^{45, 91, 92}

Segundo Bourne⁹¹ este tipo de fluxo é encontrado somente em líquidos que contém alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão, além disso, alguns fluidos que não dilatam quando cisalhados, podem ainda assim exibir um tipo dilatante de comportamento em função da taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento. De acordo com Lagarrigue⁵¹, o comportamento do amido muda do Newtoniano, antes do inchamento, para um comportamento dilatante nos primeiros estágios da gelatinização, e só então mais tarde apresenta o comportamento pseudoplástico (*shear-thinning*) o qual é seguido até o final.

As afirmações acima sugerem que o comportamento dilatante encontrado no presente trabalho, pode ter sido resultante da escolha de temperaturas muito próximas a gelatinização. Nesta faixa de temperatura, ocorre o inchamento irreversível dos grânulos de amido, a fusão dos cristalitos e a liberação de componentes, principalmente amilose.^{12, 59, 93, 94} Quando o máximo de inchamento é alcançado, os grânulos começam a romper e somente então, irão conduzir a queda de viscosidade, a qual pode ser aumentada, caso a taxa de cisalhamento seja alta.⁵¹ No presente trabalho, embora as taxas de cisalhamento tenham sido elevadas, a ruptura dos grânulos parece não ter ocorrido, aumentando o número de partículas rígidas insolúveis em suspensão e conseqüentemente influenciando o regime de fluxo do sistema.

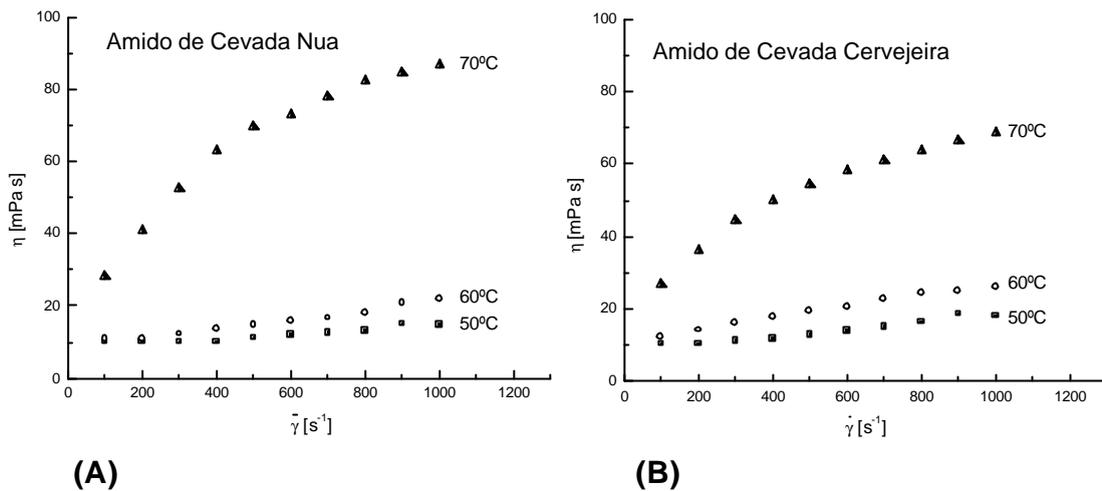


Figura 13 - Curvas de fluxo para os amidos de cevada cervejeira (A) e nua (B) nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e concentração de 6%.

Outro relevante parâmetro está relacionado ao tempo de estabilização térmica da amostra, antes desta ser analisada no reômetro. Embora alguns autores não revelem o tempo para estabilização da amostra antes de colocá-la no equipamento^{49, 50, 94-96}, outros revelam tempos bem diferentes.⁹⁷⁻⁹⁹ Estas afirmações levam-nos a sugerir que embora os métodos utilizados neste trabalho tenham sido padronizados para produzir resultados de reprodutibilidade assegurada; este aspecto de preparação da suspensão antes de colocá-la no equipamento parece ser de extrema importância, podendo sua falta e suas diferenças, contribuir para a incompleta ruptura dos grânulos, afetando desta forma o comportamento reológico da suspensão de amido.

Para os valores de viscosidade foram verificados resultados similares para os dois amidos (Figura 3) nas faixas de temperatura entre 50 e 60 °C. Ao atingir 70 °C, temperatura esta acima da gelatinização, o amido de cevada nua apresentou valores de viscosidade superiores (\cong 84 mPa s) quando comparados aos valores de amido de cevada cervejeira (\cong 70 mPa s). Estes valores vão de encontro ao comportamento do amido durante o inchamento do grânulo, realizado na primeira parte deste trabalho e sugerem que o comportamento reológico do amido tem se mostrado como resultado de um efeito concomitante entre a fase contínua (amilose) e a amilopectina.¹⁰⁰ Em outras palavras, em temperaturas próximas da gelatinização ou acima, o amido de cevada nua, obteve maior extensão de inchamento devido a menor quantidade de amilose.^{30, 31,}

⁸⁸ O maior inchamento dos grânulos determina concomitantemente maiores valores de viscosidade de pasta (RVU) para o amido (Tabela 5) e ainda, maior sensibilidade do amido ao cisalhamento.¹⁰¹ Como era esperado, este comportamento aplicou-se para o amido de cevada nua, que revelou valores de viscosidade superiores em função das taxas de cisalhamento (Figura 3).

As mudanças no módulo de armazenamento (G') e perda (G'') nos dois cultivares analisados em função da temperatura podem ser visualizadas na Figura 4 A e B.

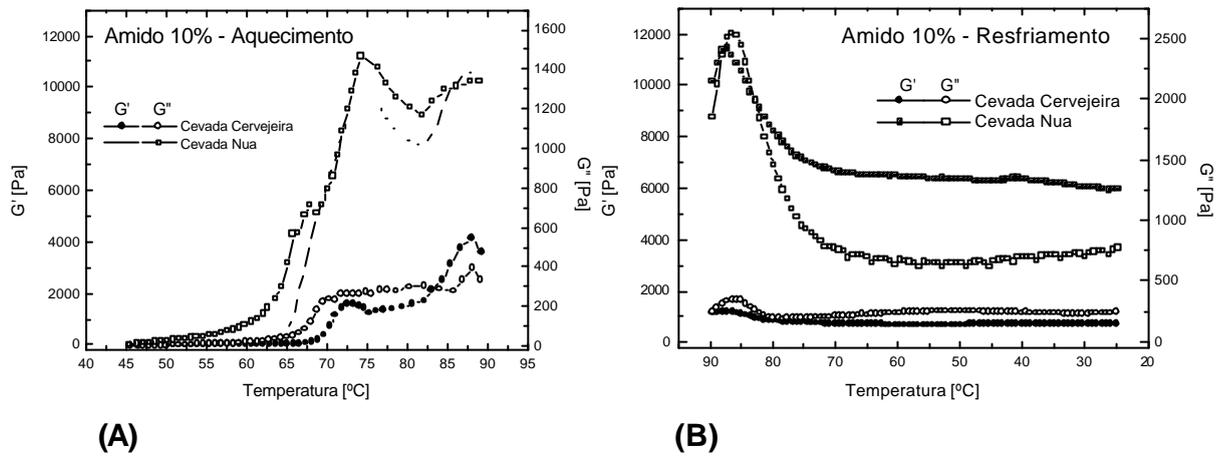


Figura 14 - Módulo de armazenamento (G') e perda (G'') no aquecimento (A) e resfriamento (B) de solução de amido (10%) a diferentes temperaturas

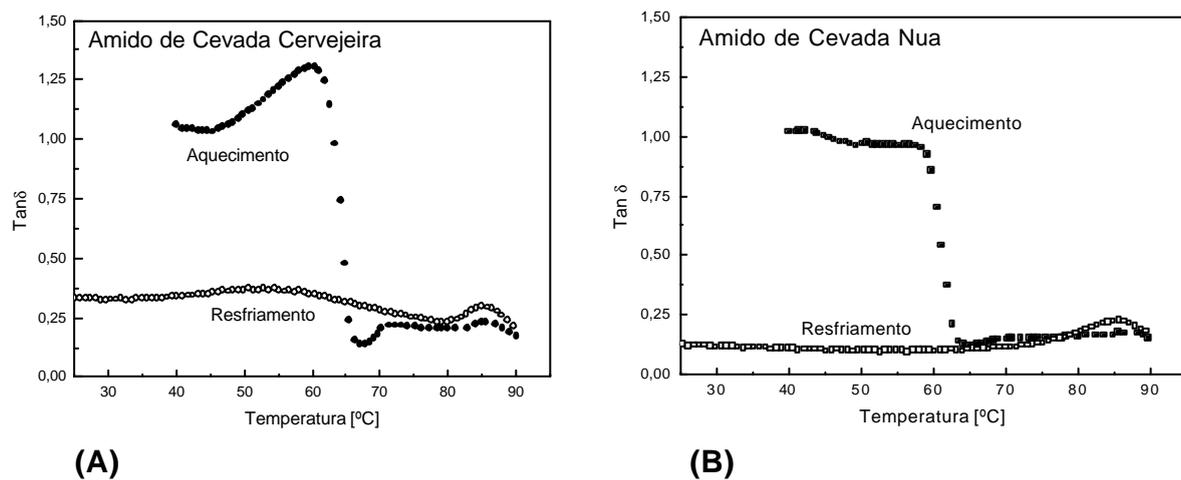


Figura 15 - Valores de $\tan \delta$ (G''/G') no aquecimento e resfriamento para os amidos de cevada cervejeira (A) e nua (B) na concentração de 10%

O amido de cevada nua apresentou os maiores valores de G' durante o aquecimento (Figura 4A), quando comparado ao observado para o amido de cevada cervejeira. De acordo com Kaur e colaboradores¹⁰², Svegmak e Hermansson¹⁰³, este comportamento pode ser atribuído as diferenças entre a estrutura granular de um ou outro amido. Esta estrutura granular, no entanto, depende da origem botânica de cada cultivar.

O aumento inicial do módulo de estocagem foi observado nas temperaturas entre 55 e 60 °C. Nesta etapa, os grânulos de amido incham progressivamente e começam a preencher o volume da amostra total, ou seja a transição de um sistema líquido com partículas dispersas para um sistema relativamente empacotado com partículas deformadas.³⁹ Este aumento inicial de G' ao redor dos 55 °C, coincidiu com os primeiros estágios de fusão dos cristalitos observados através da calorimetria diferencial de varredura (Tabela 2). Nesta mesma etapa podem estar sendo formadas matrizes elásticas entre o amido e outros componentes, tais como lipídios ou proteínas presentes na composição química do amido (Tabela 1).⁹⁶

Durante o aquecimento (55 °C), houve aumento no módulo de armazenagem (G') e perda (G''), com conseqüente queda nos valores de $\tan \delta$ (Figura 5). Os valores de G' maiores que G'' e a queda de $\tan \delta$ evidenciam a formação do gel através de uma rede tridimensional ordenada e um comportamento mais elástico que viscoso. Este resultado vai de encontro ao trabalho realizado por Kaur e Sodhi¹⁰² e sugere, portanto, que a partir da temperatura de 55 °C o gel já está formado.³³

Já a queda de G' , coincidiu com a endoterma final de gelatinização. Ou seja, a fusão dos cristalitos remanescentes faz com que os grânulos tornem-se mais inchados e tornem-se mais moles, conseqüentemente o módulo G' diminui.^{39, 96}

A 75 °C o amido de cevada nua atingiu um G' máximo de 10,000 Pa, ao passo que o amido de cevada cervejeira, na mesma temperatura atingiu menos de 2,000 Pa. Estas diferenças podem ser resultantes das faixas de temperaturas de gelatinização dos respectivos amidos,^{97, 104} porém, neste trabalho, as faixas de gelatinização embora divergentes não possuem diferenças significativas. Isto leva-nos a sugerir que as

diferenças entre G' podem representar simplesmente um comportamento mais líquido para o amido de cevada cervejeira.

Embora neste trabalho a concentração de amido (10%) tenha sido a mesma para os dois cultivares analisados, vale ressaltar que em alguns trabalhos, quanto maior a concentração do amido, menor a temperatura na qual G' atinge o seu máximo durante o aquecimento.^{39, 102}

A queda de G' ou “breakdown”, segundo alguns autores reflete o grau de desintegração ou deformação dos grânulos de amido.^{28, 50, 53} Esta queda foi maior no amido de cevada nua, sugerindo a presença de grânulos maiores nesta variedade, enquanto que grânulos menores presentes no amido de cevada cervejeira podem ter sido responsáveis pelos menores valores de queda de G' .¹⁰² Ao contrário de Li e Yeh⁵⁰ a hipótese de que grânulos menores produzam valores menores de G' , não pode ser descartada neste trabalho, indo de encontro as afirmações de Eliasson e Bohlin.⁵² Para Autio¹⁰⁴ a queda de G' próxima a 90 °C para os dois amidos, também pode refletir a presença de amilopectina hidratada e fragmentada.

Os cultivares não apresentaram respostas viscosas (G'') significantes durante os experimentos de cisalhamento nas temperaturas abaixo de 60 °C (Figura 4-A). Entretanto, para o amido de cevada nua, o aquecimento continuado, provocou um rápido aumento no módulo de perda, alcançando um máximo de 10,000 Pa em torno dos 75 °C, para o amido de cevada cervejeira, este máximo foi alcançado em temperaturas um pouco menores que 75 °C. Nestes picos máximos os valores de G'' sobressaíram-se sobre os valores de G' , o que já era esperado uma vez que neste momento há absorção de água durante o inchamento e liberação de amilose e amilopectina provenientes dos grânulos,^{39, 96} favorecendo a perda de estrutura e aumentando a viscosidade e, conseqüentemente os valores de G'' .⁹⁶

A redução dos valores do módulo de perda (G'') durante o aquecimento no amido de cevada nua e cervejeira, pode ser observada a partir de 75 °C e 73,5 °C, respectivamente. Esta diminuição pode estar indicando a presença de algum outro componente, entre estes lipídios ou ainda, proteínas solúveis, as quais podem estar envolvidas em mudanças reológicas. As mudanças no módulo de armazenagem (G') foram similares aos padrões de mudança do módulo de perda (G'') durante o

aquecimento e a queda de seus valores após o processo de gelatinização está de acordo com outros trabalhos.^{39, 52, 53}

Durante o resfriamento das pastas de amido aquecido, os valores de G' e G'' elevaram-se e os valores de $\tan \delta$ diminuíram (Figura 4B e 5). A queda dos valores de $\tan \delta$ evidencia a formação do gel e, durante o resfriamento a rigidez deste gel aumenta.^{39, 96, 102, 105} O amido de cevada nua, entretanto, mostrou os maiores valores de G' e G'' e os menores valores de $\tan \delta$ (Figura 2B e 3B). Este comportamento sugere que houve a formação de uma estrutura mais rígida neste gel de amido, quando comparado ao amido de cevada cervejeira.

O fenômeno temporário do aumento de G' durante o resfriamento pode ser devido a duas reações que ocorrem simultaneamente e em diferentes escalas de tempo. Primeiramente, ocorre a gelificação da amilose solubilizada numa fase contínua, enquanto há um aumento simultâneo na cristalização reversível envolvendo a amilopectina dentro dos grânulos inchados.³⁹

As diferenças nos valores de $\tan \delta$ entre os dois amidos sugerem um comportamento mais viscoso no amido de cevada cervejeira e, pode ser resultante de uma rede de amilose menos desenvolvida entre os grânulos,³⁹ uma vez que o amido de cevada cervejeira apresenta maior quantidade de amilose (Tabela 1). Os valores de $\tan \delta$ para o amido de cevada nua continuam a cair (Figura 5B) durante o resfriamento, provavelmente como resultado de rearranjos envolvendo as moléculas de amilose e amilopectina.

4 CONCLUSÃO

As propriedades térmicas, a retrogradação, propriedades de pasta e a reologia estão diretamente relacionados com a composição química e o método de isolamento empregado. O amido de cevada nua, um cultivar ainda experimental no país, demonstrou possuir menor conteúdo de amilose, menor temperatura de gelatinização e menor porcentagem de retrogradação. A cevada cervejeira, contrariamente, apresentou maior conteúdo de amilose e maior temperatura de gelatinização. Estas diferenças podem ser atribuídas às características genéticas e condições de cultivo de cada cultivar, já que o cultivar BR-2 por tratar-se de uma variedade já industrializada no país, pode sofrer tratamentos específicos durante o cultivo.

Nos experimentos reológicos, o amido de cevada nua, apresentou os maiores valores de G' e G'' e os menores valores de $\tan \delta$, sugerindo a formação de uma estrutura mais rígida e portanto, um gel mais firme.

Nas curvas de fluxo, este mesmo amido, apresentou maiores valores de viscosidade, confirmando os dados obtidos através do estudo das propriedades de pasta. Embora seus valores de retrogradação tenham sido um pouco menores, ambos foram elevados (nua e cervejeira). Portanto, as modificações individuais de cada amido, levando-se em consideração sua constituição química e propriedades funcionais foram fatores determinantes na retrogradação.

Agradecimentos

A Prof. Dra. Patricia Rayas-Duarte, pelo apoio e suporte financeiro. A indústria SL-Alimentos Cereais, Ltda. situada em Mauá da Serra, PR e a Cooperativa Agrária entre Rios, PR pelo fornecimento das amostras de cevada nua e cervejeira, respectivamente. Ao projeto CYTED, por ter financiado parte destes experimentos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 MACGREGOR, A. W.; FINCHER, G. B. Carbohydrates of the barley grain. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St. Paul, Minnesota - USA: AACC, 1993. p. 73-128
- 2 BHATTY, R. S. The potential of hull-less barley. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.589-599, 1999.
- 3 _____. Nonmalting uses of barley. In: MACGREGOR, A. W.; BHATTY, R. S. **Barley - Chemistry and Technology**. St. Paul, Minnesota, USA.: American Association of Cereal Chemists, 1993. p. 356-403
- 4 BAKER, L. A.; RAYAS-DUARTE, P. Retrogradation of Amaranth Starch at Different Storage Temperatures and the Effects of Salt and Sugars. **Cereal Chemistry**, v.75, n.3, p.308-314, 1998.
- 5 ANDERSSON, A. A. M.; ANDERSSON, R.; AMAN, P. Starch and byproducts from a laboratory-scale barley starch isolation procedure. **Cereal Chemistry**, v.78, n.5, p.507-513, 2001.
- 6 AMAN, P.; NEWMAN, C. W. Chemical composition of some different types of barley grown in Montana, U.S.A. **Journal of Cereal Science**, v.4, n.2, p.133-141, 1986.
- 7 ALEXANDER, R. J. Fat Replacers Based on Starch. **Cereal Foods World**, v.40, n.5, p.366-368, 1995.
- 8 ZHANG, G. C., J.; WANG, J.; DING, S. Cultivar and environmental effects on (1-3, 1-4)- β -D-glucan and protein content in malting barley. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.295-301, 2001.
- 9 YOU, S.; IZYDORCZYK, M. S. Molecular characteristics of barley starches with variable amylose content. **Carbohydrate Polymers**, v.49, n.1, p.33-42, 2002.
- 10 TESTER, R. F.; KARKALAS, J. The effects of Environmental Conditions on the Structural Features and Physico-chemical Properties of Starches. **Starch/Starke**, v.53, p.513-519, 2001.
- 11 TESTER, R. F.; SOUTH, J. B.; MORRISON, W. R.; ELLIS, R. P. The effects of ambient temperature during de grain filling period on the composition and properties of starch from four barley genotypes. **Journal of Cereal Science**, v.13, n.2, p.113-127, 1991.

12 TESTER, R. F. Influence of growth conditions on barley starch properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.21, p.37-45, 1997.

13 YOSHIMOTO, Y.; TAKENOUCI, T.; TAKEDA, Y. Molecular structure and some physicochemical properties of waxy and low-amylose barley starches. **Carbohydrate Polymers**, v.47, n.2, p.159-167, 2002.

14 YOO, S. H.; JANE, J. Structural and physical characteristics of waxy and other wheat starches. **Carbohydrate Polymers**, v.49, p.297-305, 2002.

15 SONG, Y.; JANE, J. Characterization of barley starches of waxy, normal, and high amylose varieties. **Carbohydrate Polymers**, v.41, p.365-377, 2000.

16 SALOMONSSON, A. C.; SUNDBERG, B. Amylose content and chain profile of amylopectin from normal, high amylose and waxy barleys. **Starch/Starke**, v.46, p.325-328, 1994.

17 TANG, H.; ANDO, H.; WATANABE, K.; TAKEDA, Y.; MITSUNAGA, T. Fine Structures of Amylose and Amylopectin from Large, Medium and Small Waxy Barley Starches Granules. **Cereal Chemistry**, v.78, n.2, p.111-115, 2001.

18 WARD, K. E. J.; HOSENEY, R. C.; SEIB, P. A. Retrogradation of Amylopectin from Maize and Wheat Starches. **Cereal Chemistry**, v.71, n.2, p.150-155, 1994.

19 WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Functional properties of oat starches and relationships among functional and structural characteristics. **Cereal Chemistry**, v.71, n.5, p.451-458, 1994.

20 TANG, H.; ANDO, H.; WATANABE, K.; TAKEDA, Y.; MITSUNAGA, T. Some Physicochemical Properties of Small-, Medium-, and Large-Granule Starches in Fractions of Waxy Barley Grain. **Cereal Chemistry**, v.77, n.1, p.27-31, 2000.

21 _____. Physicochemical properties and structure of large, medium and small granule starches in fractions of normal barley endosperm. **Carbohydrate Research**, v.330, n.2, p.241-248, 2001.

22 VASANTHAN, T.; BHATTY, R. S. Physicochemical properties of small- and large-granule starches of waxy, regular and high-amylose barleys. **Cereal Chemistry**, v.73, n.2, p.199-207, 1996.

23 VASANTHAN, T.; BHATTY, R. S.; TYLER, R. T.; CHANG, P. Isolation and Cationization of Barley Starches at Laboratory and Pilot Scale. **Cereal Chemistry**, v.74, n.1, p.25-28, 1997.

- 24 URIYAPONGSON, J.; RAYAS-DUARTE, P. Comparison of Yield and Properties of Amaranth Starches Using Wet and Dry-Wet Milling Process. **Cereal Chemistry**, v.71, n.6, p.571-577, 1994.
- 25 GRANT, L. A. Effects of Starch Isolation, Drying, and Grinding Techniques on Its Gelatinization and Retrogradation Properties. **Cereal Chemistry**, v.75, n.5, p.590-594, 1998.
- 26 MCDONALD, A. M. L.; STARK, J. R. A critical examination of procedures for the isolation of barley starch. **Journal of the Institute of Brewing**, v.94, p.125-132, 1988.
- 27 MORRISON, W. R.; SCOTT, D. C.; KARKALAS, J. Variation in the composition and physical properties of barley starches. **Starch/Starke**, v.38, n.11, p.374-379, 1986.
- 28 SINGH, J.; SINGH, N. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. **Food Chemistry**, v.75, p.67-77, 2001.
- 29 SHAMEKH, S.; FORSSEL, P.; SUORTTI, T.; AUTIO, K.; POUTANEN, K. Fragmentation of Oat and Barley Starch Granules During Heating. **Journal of Cereal Science**, v.30, n.2, p.173-182, 1999.
- 30 SEETHARAMAN, K.; TZIOTIS, A.; BORRAS, F.; WHITE, P. J.; FERRER, M.; ROBUCCI, J. Thermal and functional characterization of starch from argentinean corn. **Cereal Chemistry**, v.78, n.4, p.379-386, 2001.
- 31 SCHOCH, J. T. Swelling power and solubility of starch granules. In: WHISTLER, R. J. S., R.J.; WOLFROM, M.L. **Methods in Carbohydrates Chemistry**. New York, USA: Academic Press, 1964. p. 106-108
- 32 RIVA, M.; FESSAS, D.; SCHIRALDI, A. Starch retrogradation in cooked pasta and rice. **Cereal Chemistry**, v.77, n.4, p.433-438, 2000.
- 33 REDDY, I.; SEIB, P. A. Paste properties of modified starches from partial waxy wheats. **Cereal Chemistry**, v.76, n.3, p.341-349, 1999.
- 34 QIAN, J.; RAYAS-DUARTE, P.; GRANT, L. Partial characterization of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch. **Cereal Chemistry**, v.75, n.3, p.365-373, 1998.
- 35 PARKER, R.; RING, S. G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.1-17, 2001.

36 LIU, Q.; THOMPSON, D. B. Retrogradation of *du wx* and *su2 wx* Maize Starches After Different Gelatinization Heat Treatments. **Cereal Chemistry**, v.75, n.6, p.868-874, 1998.

37 LI, J. H.; VASANTHAN, T.; ROSSNAGEL, B.; HOOVER, R Starch from hull-less barley: II. Thermal, rheological and acid hydrolysis characteristics. **Food Chemistry**, v.74, n.4, p.407-415, 2001.

38 KLUCINEC, J. D.; THOMPSON, D. B. Amylose and amylopectin interact in retrogradation of dispersed high-amylose starches. **Cereal Chemistry**, v.76, n.2, p.282-291, 1999.

39 KEETELS, C. J. A. M. **Retrogradation of Concentrated Starch Systems; Mechanism and Consequences for Product Properties**. 1995. 165 p. PhD Thesis, Department of Agriculture, Wageningen Agricultural University, Netherlands.

40 KARIM, A. A.; NORZIAH, M. H.; SEOW, C. C. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**, v.71, p.9-36, 2000.

41 JACOBSON, M. R.; OBANNI, M.; BEMILLER, J. N. Retrogradation of starches from different botanical sources. **Cereal Chemistry**, v.74, n.5, p.511-518, 1997.

42 JACOBSON, M. R.; BEMILLER, J. N. Method for Determining the Rate and Extent of Accelerated starch retrogradation. **Cereal Chemistry**, v.75, n.1, p.22-29, 1998.

43 HERMANSSON, A. M.; SVEGMARK, K. Developments in the understanding of starch functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v.7, p.345-353, 1996.

44 GUDMUNSSON, M.; ELIASSON, A. C. Thermal and viscous properties of rye starch extracted from different varieties. **Cereal Chemistry**, v.68, n.2, p.172-177, 1991.

45 MULLER, H. G. Non-Newtonian Liquids: Characteristics and Measurement. In: MULLER, H. G. **An Introduction to Food Rheology**. New York: Crane, Russak & Company, Inc., 1973. p. 67-76

46 MORIKAWA, K.; NISHINARI, K. Rheological and DSC studies of gelatinization of chemically modified starch heated at various temperatures. **Carbohydrate Polymers**, v.43, p.241-247, 2000.

47 MESTRES, C.; MOUQUET, C. Almidon - Propiedades fisico - quimicas, funcionales y nutricionales. Usos. In: Principios fisico-quimicos de la viscosidad de suspensiones de almidones, 1996, Quito - Ecuador. **Proceedings of**. Quito - Ecuador: Fundacyt y Senacyt, 1996. p. 23-40.

48 MESTRES, C. Los estados físicos del almidón. In: Conferencia Internacional de Almidón - Propiedades físico-químicas, funcionales y nutricionales. Usos, 1996, Quito, Ecuador. **Proceedings of**. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 1996. p. 1-16.

49 LII, C. Y.; SHAO, Y. Y.; TSENG, K. H. Gelation Mechanism and Rheological Properties of Rice Starch. **Cereal Chemistry**, v.72, n.4, p.393-400, 1995.

50 LI, J. Y.; YEH, A. I. Relationship between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. **Carbohydrate Polymers**, v.50, p.141-148, 2001.

51 LAGARRIGUE, S.; ALVAREZ, G. The rheology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: a review. **Journal of Food Engineering**, v.50, p.189-202, 2001.

52 ELIASSON, A. C.; BOHLIN, L. Rheological properties of concentrated wheat starch gels. **Starch/Starke**, v.34, p.267-271, 1982.

53 TSAI, M. L.; LI, C. F.; LII, C. Y. Effects of granular structures on the pasting behaviours of starches. **Cereal Chemistry**, v.74, n.6, p.750-757, 1997.

54 DUFFUS, C. M. Control of starch biosynthesis in developing cereal grains. **Biochemistry of Plant Polysaccharides**, v.20, p.13-18, 1992.

55 FRANCO, C. M. L.; WONG, K. S.; YOO, S.; JANE, J. L. Structural and Functional Characteristics of Selected Soft Wheat Starches. **Cereal Chemistry**, v.79, n.2, p.243-248, 2002.

56 CZUCHAJOWSKA, Z.; KLAMCZYNSKI, A.; PASZCZYNSKA, B.; BAIK, B.-K. Structure and functionality of barley starches. **Cereal Chemistry**, v.75, n.5, p.747-754, 1998.

57 MORRISON, W. R.; TESTER, R. F.; SNAPE, C. E.; LAW, R.; GIDLEY, M. J. Swelling and gelatinization of cereal starches. IV. Some effects of lipid-complexed amylose and free amylose in waxy and normal barley starches. **Cereal Chemistry**, v.70, n.4, p.385-391, 1993.

58 SZCZODRAK, J.; POMERANZ, Y. Starch and Enzyme-Resistant Starch from High-Amylose Barley. **Cereal Chemistry**, v.68, n.6, p.589-596, 1991.

59 TANG, H.; WATANABE, K.; MITSUNAGA, T. Structure and functionality of large, medium and small granule starches in normal and waxy barley endosperms. **Carbohydrate Polymers**, v.49, n.2, p.217-224, 2002.

60 ZHENG, G. H.; HAN, H. L.; BHATTY, R. S. Functional properties of Cross-Linked and Hydroxypropylated Waxy Hull-less Barley Starches. **Cereal Chemistry**, v.76, n.2, p.182-188, 1999.

61 TESTER, R. F.; MORRISON, W. R.; SCHULLMAN, A. H. Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. V. Riso Mutants of Bomi and Carlsberg II Barley Cultivars. **Journal of Cereal Science**, v.17, p.1-9, 1993.

62 YASUI, T.; SEGUCHI, M.; ISHIKAWA, N.; FUJITA, M. Starch properties of a waxy mutant line of hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.). **Starch/Starke**, v.54, p.179-184, 2002.

63 PERERA, C.; LU, Z.; SELL, J.; JANE, J. Comparison of Physicochemical Properties and Structures of Sugary-2 Cornstarch with Normal and Waxy Cultivars. **Cereal Chemistry**, v.78, n.3, p.249-256, 2001.

64 JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; MCPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.629-637, 1999.

65 SHAMEKH, S.; MUSTRANTA, A.; POUTANEN, K.; FORSSEL, P. Enzymatic Hydrolysis of barley starch lipids. **Cereal Chemistry**, v.75, n.5, p.624-628, 1998.

66 BOLTZ, K. W.; THOMPSON, D. B. Initial Heating Temperature and Native Lipid Affects Ordering of Amylose During Cooling of High-Amylose Starches. **Cereal Chemistry**, v.76, n.2, p.204-212, 1999.

67 VILLWOCK, V. K.; ELIASSON, A. C.; SILVERIO, J.; BEMILLER, J. N. Starch-Lipid Interactions in Common, Waxy, *ae du*, and *ae su2* Maize Starches Examined by Differential Scanning Calorimetry. **Cereal Chemistry**, v.76, n.2, p.292-298, 1999.

68 VANSTEELANDT J.; DELCOUR, J. A. Characterisation of Starch from Durum Wheat (*Triticum durum*). **Starch/Starke**, v.51, p.73-80, 1999.

69 LAURO, M.; POUTANEN, K.; FORSSELL, P. M. Effect of Partial Gelatinization and Lipid Addition on α -Amylosis of Barley Starch Granules. **Cereal Chemistry**, v.77, n.5, p.595-601, 2000.

70 MORRISON, W. R. Lipids in Cereal Starches: a Review. **Journal of Cereal Science**, v.8, p.1-15, 1988.

71 _____. Starch lipids: A Reappraisal. **Starch/Starke**, v.33, p.408-410, 1981.

72 JENKINS, P. J.; DONALD, A. M. The influence of amylose on starch granule structure. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.17, p.315-321, 1995.

73 COOKE, D.; GIDLEY, M. J. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization: origin of the enthalpic transition. **Carbohydrate Research**, v.227, p.103-112, 1992.

74 TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. I. Effects of Amylopectin, Amylose, and Lipids. **Cereal Chemistry**, v.67, n.6, p.551-557, 1990.

75 FUJITA, S.; MORITA, T.; FUJIYAMA, G. The study of melting temperature and enthalpy of starch from rice, barley, wheat, foxtail and proso-millet. **Starch/Starke**, v.45, p.436-441, 1993.

76 COLLISON, R. Starch Retrogradation. In: RADLEY, J. A. **Starch and its derivatives**. ed. London: Chapman and Hall Ltd., 1968. p. 195-202

77 SILVERIO, J. F., H.; ANDERSSON, R.; ELIASSON, A.-C.; AMAN, P. The effect of temperature cycling on the amylopectin retrogradation of starches with different amylopectin unit-chain length distribution. **Carbohydrate Polymers**, v.42, p.175-184, 2000.

78 HARALAMPU, S. G. Resistant Starch - a review of the physical properties and biological impact of RS₃. **Carbohydrate Polymers**, v.41, p.285-292, 2000.

79 NIBA, L. L. Resistant starch: a potential functional food ingredient. **Nutrition & Food Science**, v.32, n.2, p.62-67, 2002.

80 GARCIA-ALONSO, A.; JIMÉNEZ-ESCRIG, A.; MARTIN-CARRÓN, N.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. **Food Chemistry**, v.66, p.181-187, 1999.

81 HAYAKAWA, K.; TANAKA, K.; NAKAMURA, T.; ENDO, S.; HOSHINO, T. Quality Characteristics of Waxy Hexaploid Wheat (*Triticum aestivum* L.): Properties of Starch Gelatinization and Retrogradation. **Cereal Chemistry**, v.74, n.5, p.576-580, 1997.

82 WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. 2 ed. Minnesota: Eagan Press, 1999. 241 p.

83 YUE, P.; RAYAS-DUARTE, P.; ELIAS, E. Effect of Drying Temperature on Physicochemical Properties of Starch Isolated from Pasta. **Cereal Chemistry**, v.76, n.4, p.541-547, 1999.

84 JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; MCPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M.; KASEMSUWAN, T. Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch. **Cereal Chemistry**, v.76, n.5, p.629-637, 1999.

85 CHATAKANONDA, P.; VARAVINIT, S.; CHINACHOTI, P. Relationship of gelatinization and recrystallization of cross-linked rice to glass transition temperature. **Cereal Chemistry**, v.77, n.3, p.315-319, 2000.

86 LI, J.; CORKE, H. Physicochemical Properties of Normal and Waxy Job's Tears (*Coix lachryma-jobi* L.) Starch. **Cereal Chemistry**, v.76, n.3, p.413-416, 1999.

87 MCPHERSON, A. E.; JANE, J. Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. **Carbohydrate Polymers**, v.40, p.57-70, 1999.

88 SASAKI, T.; MATSUKI, J. Effect of wheat starch structure on swelling power. **Cereal Chemistry**, v.75, p.525-529, 1998.

89 RADOSAVLJEVIC, M.; JANE, J.; JOHNSON, L. A. Isolation of Amaranth Starch by Diluted Alkaline-Protease Treatment. **Cereal Chemistry**, v.75, n.2, p.212-216, 1998.

90 PASQUEL, A. Gomas: Utilização e aspectos reológicos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.33, n.1, p.86-97, 1999.

91 BOURNE, M. C. Viscosity and Consistency. In: BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: Concept and Measurement** New York: Academic Press, 1982. p. 199-245

92 STOLT, M.; OINONEN, S.; AUTIO, K. Effect of high pressure on the physical properties of barley starch. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.1, p.167-175, 2001.

93 TESTER, R. F.; KARKALAS, J. Swelling and Gelatinization of Oat Starches. **Cereal Chemistry**, v.73, n.2, p.271-277, 1996.

94 TAKO, M.; HIZUKURI, S. Retrogradation Mechanism of rice starch. **Cereal Chemistry**, v.77, n.4, p.473-477, 2000.

95 LII, C. Y.; TSAI, M. L.; TSENG, K. H. Effect of Amylose Content on the Rheological Property of Rice Starch. **Cereal Chemistry**, v.73, n.4, p.415-420, 1996.

- 96 ADDO, K.; XIONG, Y. L.; BLANCHARD, S. P. Thermal and dynamic rheological properties of wheat flour fractions. **Food Research International**, v.34, p.329-335, 2001.
- 97 AUTIO, K. Rheological and Microstructural changes of oat and barley starches during heating and cooling. **Food Structure**, v.9, p.297-304, 1990.
- 98 THEBAUDIN, J. Y.; LEFEBVRE, A. C.; DOUBLIER, J. L. Rheology of Starch Pastes from Starches of Different Origins: Applications to Starch-based Sauces. **Lebensm.-Wiss. U-Technology**, v.31, p.354-360, 1998.
- 99 ROSALINA, I.; BHATTACHARYA, M. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. **Carbohydrate Polymers**, v.48, p.191-202, 2002.
- 100 ALLONCLE, M.; LEFEBVRE, J.; LLAMAS, G.; DOUBLIER, J. L. A Rheological Characterization of Cereal Starch-Galactomannan Mixtures. **Cereal Chemistry**, v.66, n.2, p.90-93, 1989.
- 101 DOUBLIER, J.-L.; PATON, D.; LLAMAS, G. A rheological investigation of oat starch pastes. **Cereal Chemistry**, v.64, n.1, p.21-26, 1987.
- 102 KAUR, L.; SINGH, N.; SODHI, N. S. Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. **Food Chemistry**, v.79, n.2, p.183-192, 2002.
- 103 SVEGMARK, K.; HERMANSSON, A. M. Microstructure and rheological properties of composites of potato starch granules and amylose: a comparison of observed and predicted structure. **Food Structure**, v.12, n.2, p.181-193, 1993.
- 104 AUTIO, K. Rheological and Microstructural changes of oat and barley starches during heating and cooling. **Food Structure**, v.9, p.297-304, 1990.
- 105 REDDY, I.; SEIB, P. A. Modified waxy wheat starch compared to modified waxy corn starch. **Journal of Cereal Science**, v.31, p.25-39, 2000.

CONCLUSÃO GERAL

A farinha de cevada cervejeira demonstrou possuir propriedades nutricionais que permitem considerá-la como possível fonte de nutrientes, o elevado teor de fibras alimentares totais e β -glucanas, no cultivar cervejeiro, e mesmo no nu, ainda em caráter experimental no país, mostrou que seus valores estão dentro dos parâmetros internacionais;

A análise de correlação para os componentes da farinha, esteve dentro do esperado, sendo a correlação negativa existente entre proteína e amido, um dos parâmetros de escolha para o estudo do amido nestes cultivares;

A técnica de isolamento do amido pareceu afetar todas as propriedades estudadas posteriormente, sua composição química pode ter influenciado no poder de inchamento e solubilidade, bem como afetar as propriedades térmicas e reológicas do mesmo;

A microscopia eletrônica de varredura comprovou que no isolamento de amido de cereais, a remoção de proteínas aderidas a superfície do grânulo é um processo dificultoso e que nem sempre é obtido com sucesso;

A composição química do amido isolado esteve dentro dos limites estipulados na literatura e a isenção de β -glucanas, positivamente garantiu a inexistência de sua influência nas medidas de viscosidade de amido;

O poder de inchamento e a solubilidade dependem de fatores como: origem genética do amido, componentes minoritários no grânulo, tamanho dos grânulos e conteúdo de amilose. Um ou a conjunção destes fatores é capaz de influenciar nas propriedades funcionais determinando as características de cada amido em particular;

As diferenças quanto à temperatura de gelatinização para os amidos, além de depender da origem genética, parece depender dos mesmos parâmetros citados anteriormente para o poder de inchamento e solubilidade e também, do comprimento das cadeias de laterais de amilopectina e como estas se comportam durante o aquecimento, também parece influenciar nas propriedades térmicas de cada amido;

Os amidos apresentaram valores de retrogradação elevados, embora não tenha havido uma diferença significativa entre seus valores, o conteúdo de amilose, pode ter influenciado, em parte, para o maior índice de amido retrogradado no cultivar cervejeiro;

A correlação dos parâmetros para os dados de análise térmica e conteúdo de amilose, demonstrou que este componente parece influenciar nos valores de entalpia de gelatinização;

A microscopia óptica confirmou os resultados obtidos através das análises de DSC e permitiu a visualização do comportamento dos grânulos no decorrer do aquecimento;

As propriedades de pasta dos amidos foram de encontro aos resultados obtidos através das análises de poder de inchamento e solubilidade e confirmaram o amido de cevada nua como o possuidor de maior pico de viscosidade;

As análises reológicas foram de grande valia para o estudo do comportamento do amido em suspensão. As curvas de fluxo permitiram observar que o amido é um fluido não-Newtoniano. A faixa de temperatura escolhida para a realização das curvas de fluxo, por ser muito próxima a temperatura de gelatinização, pode ter influenciado no regime de fluxo obtido;

Os experimentos oscilatórios realizados em reologia, foram de encontro aos resultados encontrados na literatura. O comportamento do amido, durante o aquecimento e resfriamento permitiu a obtenção de dados que confirmaram indiretamente, as análises realizadas anteriormente. As moléculas de amilose parecem influenciar nos valores de G' e G'' , bem como a interação entre estas e as moléculas de amilopectina. A série de eventos que ocorrem nos os experimentos oscilatórios, durante o aquecimento e resfriamento, parece estar relacionada a ordem cristalina do grânulo durante o aquecimento;

PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- ♣ Averiguar a implementação de farinha de cevada na elaboração de produtos a base de cereais e realizar estudos clínicos visando à redução do colesterol sérico em indivíduos hipercolesterolêmicos;
- ♣ Testar e avaliar os vários métodos de isolamento encontrados na literatura e sua influência nas propriedades químicas e funcionais do amido;
- ♣ Avaliar a potencialidade do amido de cevada como um aditivo na elaboração de produtos alimentícios e traçar um comparativo com outros aditivos já existentes no mercado;
- ♣ Utilizar técnicas de melhoramento genético visando o aumento de componentes majoritários no grânulo, entre estes o amido, em cultivares nus ainda experimentais no país;
- ♣ Realizar estudos de retrogradação de amido verificando sua influência na formação de amido resistente e como este poderia ser aplicado na indústria alimentícia;
- ♣ Realizar a distribuição do tamanho dos grânulos de amido e verificar a estrutura e a funcionalidade dos mesmos;
- ♣ Realizar o fracionamento de amilose e amilopectina e verificar sua influência nas propriedades reológicas do amido;
- ♣ Avaliar a potencialidade do amido de cevada como um constituinte na elaboração de biofilmes;
- ♣ Verificar a influência das proteínas aderidas ao grânulo nas propriedades reológicas do amido.