



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

MARIANA LUIZA DE LOYOLA CORDEIRO CURI

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AMARANTO
ENVELHECIDO E PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS
PROTEÍNAS**

Londrina
2012

MARIANA LUIZA DE LOYOLA CORDEIRO CURI

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AMARANTO
ENVELHECIDO E PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS
PROTEÍNAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, nível Mestrado, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.
Orientadora Prof.^a Dr.^a Sandra Helena Prudencio

Londrina
2012

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

C975c Curi, Mariana Luiza de Loyola Cordeiro.

Caracterização físico-química de amaranto
envelhecido e propriedades funcionais das proteínas
/ Mariana Luiza de Loyola Cordeiro Curi. – Londrina,
2012.
54f. : il.

Orientador: Sandra Helena Prudencio.

Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade
Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2012.
Inclui bibliografia.

1. Amarantacea – Teses. 2. Cereais como alimento – Teses. 3.
Alimentos – Teor proteico – Teses. 4. Proteínas na nutrição humana – Teses. I.
Prudencio, Sandra Helena. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de
Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III.
Título.

CDU 664.6/.7

MARIANA LUIZA DE LOYOLA CORDEIRO CURI

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AMARANTO
ENVELHECIDO E PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, nível Mestrado, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Sandra Helena Prudencio
UEL – Londrina – PR

Prof^a Dr^a Maria das Graças de Assis Bianchini
UFMT – Rondonópolis – MT

Prof^a Dr^a Marta de Toledo Benassi
UEL – Londrina – PR

Londrina, 07 de outubro de 2012.

A minha mãe Vera Maria de Loyola Cordeiro
por toda compreensão e suporte nos
momentos mais difíceis da minha vida.
A meu pai Romeu Curi por todo o amor e
carinho sempre presentes.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Profa. Dra. Sandra Helena Prudencio pela sua confiança, compreensão essenciais para a realização desta.

Aos meus irmãos Janaína e Romeu Jr. por sempre acreditarem em mim.

À minha sobrinha Luisa que me trouxe tanta alegria.

Ao meu namorado Lucas Dalla Pria, por ter depositado em mim amor, carinho e confiança incondicionais.

Agradeço em especial à minha prima Cristianne Cordeiro Nascimento e ao meu padrasto João Noivo pelo incentivo e por sempre acreditarem em mim durante todo o mestrado.

As amigas que me ajudaram na realização desta etapa Tatiana Pimentel, Suzane Martins, Luciane Yoshiara, Carolina Marcucci, Angela Fey e a todos aqueles amigos que contribuíram de forma indireta.

À Prof^a. Dr^a Maria das Graças de Assis Bianchini da Universidade Federal do Mato Grosso e ao Prof. Dr. Aloísio Bianchini pela doação do amaranto estudado.

Aos funcionários e professores do Laboratório de Ciências e Tecnologia de Alimentos.

Agradeço à todos aqueles que de alguma forma contribuíram ou estiveram comigo nessa importante etapa da minha vida.

CURI, Mariana Luiza de Loyola Cordeiro. **Caracterização físico-química de amaranto envelhecido e propriedades funcionais das proteínas**. 2012. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012

RESUMO

O amaranto é uma dicotiledônea oriunda das Américas do Sul e Central e pertencente à família *Amaranthaceae*, que apresenta uma alta concentração de aminoácidos essenciais, especialmente a lisina. Este grão é um ingrediente interessante que pode contribuir em formulações de alimentos devido suas propriedades nutricionais e funcionais. A literatura não apresenta estudos a respeito das alterações nos grãos de amaranto durante o envelhecimento, e as consequências na funcionalidade de suas proteínas. Objetivou-se avaliar o efeito do envelhecimento nas características químicas e físicas de grãos de amaranto e nas propriedades funcionais dos concentrados proteicos de amaranto com diferentes tempos pós-colheita. Os grãos de amaranto foram avaliados quanto às características químicas e físicas. Concentrados proteicos foram obtidos a partir da farinha desengordurada por meio de extração alcalina, seguida da precipitação isoelétrica e posteriores ajuste para neutralidade. Nos concentrados, foram determinados o rendimento, características físico-químicas e as propriedades funcionais (capacidade de absorção de água e óleo, solubilidade das proteínas em diferentes pH's, capacidade de formação e força do gel, capacidade de formação e estabilidade de espuma e emulsão). Grãos de amaranto com maior tempo pós-colheita apresentaram-se mais avermelhados e escuros, com maior umidade e sua capacidade de hidratação foi menor que nos grãos mais novos. Com o envelhecimento observaram-se aumento da acidez de tecido do grão, redução da solubilidade das proteínas e menor rendimento do concentrado proteico. A solubilidade das proteínas e a capacidade de absorção de água ou óleo foram menores nos concentrados de amaranto com maior tempo pós-colheita, mas sua emulsão e espumas foram mais estáveis. Não houve diferença entre os concentrados quanto a capacidade de formação de gel, espuma e emulsão.

Palavras-chave: *Amaranthus cruentus*. Armazenamento. Cor. Proteínas. Funcionalidade. Solubilidade.

CURI, Mariana Luiza de Loyola Cordeiro. **Physico-chemical characterization of amaranth aged and functional properties of proteins.** 2012. 54p. Dissertation (Master in Food Science) - University of Londrina, 2012

ABSTRACT

Amaranth is a dicotyledonous originated from South and Central America and belonging to the family Amaranthacea, which has a high concentration of essential amino acids, especially lysine. This grain is an interesting ingredient that may contribute in food formulations because of their functional and nutritional properties. The literature shows no studies on changes in grain amaranth during aging, and the implications on the functionality of its protein. This study aimed to evaluate the effect of aging on chemical and physical characteristics of grain amaranth and the functional properties of amaranth protein concentrates with different post-harvest. The grain amaranth were tested for physical and chemical characteristics. Protein concentrates were obtained from defatted by alkaline extraction followed by isoelectric precipitation and subsequent adjustment to neutrality. In the concentrates were determined yield, physico-chemical and functional properties (absorption capacity for water and oil solubility of the protein at different pH's, forming ability and strength of the gel, forming ability and foam stability and emulsion). Grain amaranth with longer post-harvest were more reddish and dark, with higher humidity and hydration capacity was lower than in younger grains. With aging observed increased acidity of the grain tissue, reduced solubility of proteins and low yield of protein concentrate. The solubility of proteins and absorption capacity of water and oil were lower in concentrated amaranth with longer post-harvest, but the emulsion and foam were more stable. There was no difference between the concentrated as the ability to form gel, foam and emulsion.

Keywords: Amaranthus cruentus. Storage. Color. Protein functionality. Solubility.

LISTA DE QUADROS

- Quadro 1** – Composição aproximada dos grãos de amaranto em base seca (umidade original 6 a 11%).....14
- Quadro 2** – Composição de aminoácidos do grão de amaranto (g/100g) e padrão de aminoácidos essenciais de acordo com a FAO/WHO16
- Quadro 3** – Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) em diferentes ingredientes21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de cor dos grãos de amaranto	36
Tabela 2 – Composição centesimal das amostras de amaranto	37
Tabela 3 – Parâmetros de cor dos grãos moídos de amaranto.....	38
Tabela 4 – Medida de pH e acidez titulável das amostras de amaranto	38
Tabela 5 – Parâmetros químicos e físicos dos concentrados proteicos de amaranto	42
Tabela 6 – Propriedades funcionais de concentrados proteicos de amaranto	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de obtenção do concentrado proteico a partir do grão de amaranto	30
Figura 2 – Absorção de água pelos grãos de amaranto das safras de 2008 e 2010	35
Figura 3 – Perfil de solubilidade das proteínas das amostras de amaranto em função do pH	40
Figura 4 – Perfil eletroforético SDS-PAGE de proteína de grão de amaranto de 2008 e 2010. Coluna P – padrão; colunas 1 e 2 (amaranto repetição 1 safra 2008); colunas 3 e 4 (amaranto repetição 2 safra 2008; colunas 5 e 6 (amaranto repetição 1 safra 2010); colunas 7 e 8 (amaranto repetição 2 safra 2010)	41
Figura 5 – Perfil de solubilidade dos concentrados proteicos de amaranto em função do pH	43
Figura 6 – Perfil eletroforético SDS-PAGE dos concentrados proteicos de amaranto de 2008 e 2010. Coluna P – padrão; colunas 1 e 2 (concentrado proteico de amaranto lote 1 safra 2008); colunas 3 e 4 (concentrado proteico de amaranto lote 2 safra 2008; colunas 5 e 6 (concentrado proteico de amaranto lote 1 safra 2010); colunas 7 e 8 (concentrado proteico de amaranto lote 2 safra 2010)	44
Figura 7 – Estabilidade de espuma de concentrados proteicos de amaranto	46

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
1.1 AMARANTO	14
1.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E VALOR NUTRITIVO	14
1.2.1 Proteínas.....	14
1.2.2 Lipídios.....	16
1.2.3 Carboidratos	17
1.3 FARINHA DE AMARANTO.....	18
1.4 CONCENTRADO PROTÉICO.....	18
1.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS.....	19
1.5.1 Solubilidade	19
1.5.2 Capacidade de Absorção de Água e Óleo.....	20
1.5.3 Formação de Gel	21
1.5.4 Emulsificação.....	22
1.5.5 Espuma.....	22
1.6 EFEITOS DO ENVELHECIMENTO NOS CONSTITUINTES QUÍMICOS DO GRÃO DE AMARANTO.....	23
2 OBJETIVO	25
2.1 OBJETIVO GERAL.....	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 MATÉRIA PRIMA.....	26
3.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS GRÃOS INTEIROS E MOÍDOS.....	26
3.2.1 Capacidade de Absorção de Água pelos Grãos de Amaranto	26
3.2.2 Cor dos Grãos de Amaranto	26
3.2.3 Moagem dos Grãos	27
3.2.4 Composição Química.....	27
3.2.5 Cor das Amostras Moídas	27
3.2.6 pH	27
3.2.7 Acidez Titulável.....	28

3.2.8 Solubilidade das Proteínas em Água.....	28
3.2.9 Solubilidade das Proteínas em Diferentes pHs	28
3.2.10 Eletroforese de Proteínas	29
3.3 PREPARO DOS CONCENTRADOS PROTÉICOS DE AMARANTO	29
3.3.1 Rendimento do Concentrado Protéico de Amaranto	31
3.3.2 Determinação do Teor de Umidade e Proteínas dos Concentrados Protéicos	31
3.3.3 Cor dos Concentrados Protéicos	31
3.3.4 pH dos Concentrados Protéicos	31
3.3.5 Perfil de Solubilidade das Proteínas dos Concentrados em Diferentes pH's	31
3.3.6 Eletroforese das Proteínas dos Concentrados	31
3.4 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS CONCENTRADOS PROTÉICOS.....	32
3.4.1 Capacidade de Absorção e Retenção de Água.....	32
3.4.2 Capacidade de Absorção e Retenção de Óleo.....	32
3.4.3 Capacidade de Formação de Gel	32
3.4.4 Propriedades Emulsificantes	33
3.4.5 Propriedades Espumantes.....	33
3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS GRÃOS INTEIROS E MOÍDOS	35
4.1.1 Absorção de Água pelos Grão.....	35
4.1.2 Cor dos Grãos.....	36
4.1.3 Composição Química.....	37
4.1.4 Cor dos Amarantos Moídos	38
4.1.5 pH, Acidez e Solubilidade em Água das Proteínas	38
4.1.6 Perfil de Solubilidade das Proteínas em Diferentes pH's	39
4.1.7 Eletroforese de Proteínas	40
4.2 CONCENTRADOS PROTEICOS DE AMARANTO	41
4.2.1 Rendimento dos Concentrados Proteicos de Amaranto.....	41
4.2.2 Características Químicas e Físicas dos Concentrados Proteicos de Amaranto.....	42
4.2.3 Propriedades Funcionais de Concentrados Proteicos de Amaranto	45
CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49

INTRODUÇÃO

Há mais de 500 anos, nas épocas pré-colombianas, um grão conhecido como Huautli (designação utilizada pelo povo mexicano), atualmente conhecido como amaranto, era um dos alimentos básicos na América, quase tão importante como o milho e o feijão (RAMÍREZ, 2007).

Os grãos, considerados sagrados, eram macerados com sangue proveniente de sacrifícios humanos, oferecidos a divindades e consumidos pelos habitantes durante as cerimônias religiosas. No final do século XV, com a chegada dos colonizadores espanhóis, os praticantes deste ritual foram perseguidos e o consumo e o cultivo do amaranto, proibidos. Assim, a cultura quase desapareceu, mantendo-se apenas de forma incipiente em algumas regiões andinas (YANEZ et al., 1994; AMAYA- FARFAN; MARCILIO; SPEHAR, 2005).

O interesse mundial pelo amaranto ressurgiu nos anos 1970 quando ocorreram as primeiras investigações, lideradas pela Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos. O redescobrimiento do cultivo é justificado, principalmente por seu valor nutritivo e potencial agrônomo (ASCHERI; CARVALHO; SPEHAR, 2004; SANDERS; BECKER, 1984; YANES et al., 1994).

O amaranto foi adaptado às condições climáticas e de solo do cerrado brasileiro pela Embrapa - Cerrados (Planaltina - DF), recebendo a denominação *Amaranthus cruentus* L. variedade BRS - Alegria (SPEHAR et al., 2003; TEIXEIRA; SPEHAR; SOUZA, 2003).

A cultivar *Amaranthus cruentus* BRS Alegria originou-se da linhagem *A. cruentus* AM 5189, procedente dos Estados Unidos. Possui hipocótilo de coloração rósea, suas folhas são grandes, verdes e alongadas e de coloração rósea na nervura e os grãos são arredondados e de coloração bege (SPEHAR et al., 2003).

O aproveitamento da planta é integral, sendo que a vantagem nutricional das folhas é a presença de carotenoides, vitamina C, ferro e proteína de boa qualidade e a do grão um aporte energético, um bom teor de fibra e sua proteína de boa qualidade nutricional (BERGANZA et al., 2003).

O amaranto possui alta concentração de aminoácidos essenciais, especialmente a lisina, a qual é considerada um aminoácido limitante nos outros cereais. A inclusão do amaranto na elaboração de alimentos depende em grande

parte das propriedades funcionais de sua proteína, as quais envolvem solubilidade, absorção de água e de óleo, geleificação, entre outras (FIDANTSI; DOXASTAKIS, 2001; MARCONE; KAKUDA, 1999).

Há um aumento na demanda por novos produtos com alta qualidade nutricional. As proteínas do amaranto quando empregados em alimentos podem ser benéficas para a saúde, na prevenção de altos níveis de triglicérides e colesterol (MARTIROSYAN et al., 2007).

Embora as proteínas do grão, isolados e concentrados proteicos de amaranto, ofereçam potencial como fonte de novos ingredientes para o processamento de alimentos, seu uso tecnológico depende amplamente de suas propriedades funcionais, as quais estão diretamente relacionadas com suas características estruturais (MARCONE ; KAKUDA, 1999).

Não há estudos a respeito de alterações químicas dos componentes do grão de amaranto durante o envelhecimento e a consequência na funcionalidade das suas proteínas. Por isso, objetivou-se avaliar o efeito do envelhecimento nas propriedades químicas e físicas de grãos de amaranto e nas propriedades funcionais dos concentrados proteicos. 7

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 AMARANTO

O amaranto é um pseudo-cereal pertencente à família Amaranthacea, a qual é composta de aproximadamente 60 gêneros e 800 espécies. Porém, as espécies mais cultivadas e estudadas são *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypocondriacos* e *Amaranthus caudatus* (SAUNDERS; BECKER, 1984).

Os grãos de amaranto geralmente apresentam de 1,0 a 1,5 mm de diâmetro, 0,5 mm de espessura e 0,49 a 0,93 mg de peso, são arredondados, de coloração bege clara e compreendem a casca, embrião e perisperma (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984).

1.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E VALOR NUTRITIVO

Segundo Saunders e Becker (1984), os conteúdos de proteínas, lipídios e fibra do *Amaranthus cruentus* são 17,8; 7,9 e 4,4 g/100g respectivamente, sendo superiores aos dos cereais comuns. A composição aproximada, em base seca, das espécies mais estudadas está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Composição aproximada dos grãos de amaranto em base seca (umidade original 6 a 11%)

ESPÉCIE	PROTEÍNAS (g/100g)	LIPÍDIOS (g/100g)	FIBRAS (g/100g)	CINZAS (g/100g)
A. cruentus	17,8	7,9	4,4	3,3
A. hypochondriacus	15,6	6,1	3,3	3,3
A. caudatus	14,9	6,9	4,2	3,2

Fonte: Saunders e Becker (1984)

1.2.1 Proteínas

Uma das características mais interessantes do grão de amaranto é o seu conteúdo de proteínas, que varia de 12 a 18% (base seca), sendo assim

superior ao da maioria dos cereais como trigo (13,5 – 15%), milho (10,6 – 13,8) e cevada (10 – 14,9%) e inferior ao da aveia (16,2%), o cereal com maior conteúdo proteico (TEUTONICO; KNORR, 1985; GORISTEIN et al., 2002).

As principais frações proteicas do grão de amaranto são albuminas, globulinas e glutelinas (MARTÍNEZ; AÑÓN, 1996). Segura e Bressani (2002) concluíram que a distribuição das diferentes classes de proteínas no perisperma do grão de amaranto é muito diferente da dos outros cereais, nos quais a prolamina é superior.

Segundo Avanza e Añón (2007), no amaranto as albuminas são a principal fração proteica (49 a 65%), seguida pelas globulinas (22 a 42%) e glutelinas (14 a 18%). As albuminas têm sido citadas como proteínas globulares de baixa massa molecular (133,4 kDa), envolvidas em diferentes funções biológicas. As globulinas são compostas de globulina-11S (amarantina), globulina-P (globulina I ou albumina-2) e quantidades pequenas de globulina-7S (conamarantina). A globulina-11S apresenta massa molecular de 389 kDa (AVANZA; AÑÓN, 2007). De acordo com Segura-Nieto et al.(1994), as glutelinas apresentam características moleculares semelhantes às da globulina 11S.

As prolaminas do amaranto possuem um padrão de aminoácidos pouco usual, pois apresentam teores relativamente elevados de lisina e triptofano, o que é bastante incomum em cereais, além de também possuir um teor de treonina tão elevado como das albuminas (BRESSANI; GARCIA - VELA, 1990).

A proteína do amaranto é de alto valor biológico devido ao seu conteúdo de lisina e outros aminoácidos essenciais. Sua composição mostra que 5% da proteína é lisina (podendo chegar a 6,9) e 4,4% são aminoácidos sulfurados (Quadro 2). Além deste fato, a proteína apresenta elevado valor nutritivo, com PER (Protein Efficiency Ratio) entre 1,5 e 2,0 quando comparado a 2,5 de caseína. A biodisponibilidade da proteína do amaranto é próxima de 90% (TEUTONICO; KNORR, 1985; ASCHERI; CARVALHO; SPEHAR, 2004). 9

Quadro 2 – Composição de aminoácidos do grão de amaranto (g/100g) e padrão de aminoácidos essenciais de acordo com a FAO/WHO.

Aminoácido	Amaranto cruentus	Padrão FAO/WHO
Arginina	10,5	
Lisina	7,4	5,8
Histidina	4,7	1,9
Isoleucina	3,1	2,8
Leucina	6	6,6
Cisteína	Nd	**
Metionina	3	2,5**
Fenilalanina	5,3	***
Tirosina	4,9	6,3***
Treonina	3,9	3,4
Triptofano	Nd	1,1
Valina	5,4	3,5
Glicina	9,9	

Fonte Bressani e Garcia-Vela (1990); FAO/WHO (1991).

** (Met+Cys)

*** (Phe+Tyr)

Nd: dado não disponível

Devido à presença de aminoácidos de alto valor biológico, o grão de amaranto pode ser aplicado tanto na fortificação de farinhas de trigo, milho e tubérculos, como na elaboração de produtos farináceos isentos de glúten, pois não há presença da fração gliadina no mesmo (AMAYA-FARFAN; MARCILIO; SPEHAR, 2005).

Mendonça et al. (2009) evidenciaram que a proteína de amaranto é capaz de reduzir em 48% o colesterol total e em 57% o teor plasmático de colesterol não-HDL de animais previamente hipercolestemicos. 10

1.2.2 Lipídios

O teor de lipídios do amaranto varia na faixa de 1,9 a 8,7%, conforme a espécie e genótipo. Portanto é um teor elevado comparado a outros cereais, no entanto, bastante inferior ao das oleaginosas (24-48%) (HE e CORKE, 2003). O *A. cruentus* possui um teor relativamente alto de óleo em relação às outras espécies de amaranto, em média 6,7%.

Os ácidos graxos encontrados em maior quantidade são: palmítico (19%), oléico (26%) e linoléico (w3)(47%) (BERGER et al., 2003).

A maioria dos óleos vegetais apresenta quantidades pequenas de esqualeno. O óleo de oliva apresenta um dos maiores níveis, contendo aproximadamente 0,41 a 0,54%. Este composto é encontrado em grande quantidade em óleo de fígado de animais marinhos, estando presente na concentração de 30 a 45% do óleo. No entanto, seu uso tem sido limitado devido às dificuldades em obtê-lo destas fontes e devido à preocupação internacional na preservação de espécies marinhas (HE e CORKE 2003).

Berger et al (2003) relataram que 9,3% da fração lipídica do amaranto é composta por insaponificáveis, sendo que 6,8% correspondem ao esqualeno. Além disso, 2,7% da gordura são compostas por fitoesteróis.

1.2.3 Carboidratos

O amido é o carboidrato mais abundante do amaranto, correspondendo a aproximadamente 50 a 60% do peso em base seca. A maioria das espécies apresenta um amido ceroso, ou seja, rico em amilopectina, com aproximadamente 95% (RAMÍREZ, 2007).

Os grânulos de amido são revestidos por uma parede rígida de celulose, tornando-se inacessíveis às enzimas digestivas. Após o cozimento, os grânulos incham, o amido gelatiniza-se e há o amolecimento e rompimento da parede celular (ETTINGER, 2002).

Segundo Calzetta-Resio, Tolaba e Suarez (2000), o poder de inchamento do amido de amaranto eleva-se com o aumento da temperatura, onde o efeito tornou-se mais acentuado entre 50-70°C.

A concentração de fibra alimentar do amaranto varia de 4 a 14% (base seca), sendo maior do que em outros cereais. O grão do amaranto é uma excelente fonte de fibra insolúvel, principalmente lignina e celulose (SANDERS; BECKER, 1984; TOSI; LUCERO; MASCARELLI, 2001).

Tosi, Lucero e Mascarelli (2001) sugerem que a fibra do amaranto age no cólon promovendo um aumento da proliferação tissular de forma a proteger contra o câncer, além de seqüestrar o colesterol da dieta. Portanto, a fibra do amaranto pode ser de grande interesse comercial e nutricional.

1.3 FARINHA DE AMARANTO

Devido às suas características nutricionais, a farinha do amaranto torna-se um ingrediente alimentar altamente desejável para consumo como alimento de subsistência (base alimentar) ou mesmo para enriquecimento de dietas alimentares (SPEHAR et al., 2005).

Segundo Amaya-Farfan, Marcilio e Spehar (2005), após o processamento do grão em moinho para cereais, para obtenção da farinha, foram observadas alterações na composição do amaranto (teor de fibra e lipídios) e no aspecto físico (cor). O alto valor nutritivo da proteína faz com que a farinha de amaranto seja aplicável, tanto na fortificação de farinhas de trigo, milho e tubérculos, como na elaboração de produtos farináceos isentos de glúten.

O teor de proteína em farinhas obtidas por moagem varia de acordo com o grau de condicionamento e umidade do grão, sendo que, os grãos com maior umidade reproduziram as menores recuperações de proteína. Não houve perda expressiva no teor de proteína na produção da farinha de amaranto (MARCILIO et al., 2003).

1.4 CONCENTRADO PROTEICO

Há muito tempo as proteínas são reconhecidas como os elementos estruturais de todas as células do organismo. Como as proteínas são os principais constituintes dos tecidos vivos do organismo que, por sua vez, dependem da proteína alimentar para obter essas substâncias indispensáveis, a qualidade e a quantidade das proteínas na dieta são fundamentais. Portanto, a obtenção de concentrados proteicos de amaranto é desejável pelo aspecto nutricional, devido ao seu elevado teor de aminoácidos sulfurados (MATTHEWS, 2003). 12

O concentrado proteico de amaranto pode ser obtido pela precipitação isoelétrica, o qual consiste na extração da proteína a partir da farinha desengordurada com solvente alcali (pH entre 8 e 11) seguido de precipitação das frações de proteínas importantes no ponto isoelétrico, que varia de pH 4,5 a 5. A obtenção do isolado proteico altera as propriedades funcionais e aumenta o valor nutricional das proteínas (SALCEDO-CHAVES et al., 2002).

Salcedo-Chavez et al. (2002) sugerem pH 9,2 para extração e pH de 5,7 para a precipitação das proteínas de amaranto (*Amaranthus cruentus*). Martinez & Añon (1996) relataram um ótimo de extração em pH 9,0 e de precipitação em pH 5,0.

Reis e Netto (2006) notaram que a extração de proteína do amaranto gerou perdas entre 20 e 50% nas principais etapas do processo (extração em pH alcalino e precipitação no pI), obtendo-se recuperação máxima de 24% de proteína em extração com água e pH 9. O perfil das proteínas presentes no resíduo da extração alcalina mostrou-se semelhante ao dos concentrados proteicos, no entanto, aqueles obtidos com extração em solução salina apresentaram maior proporção de albuminas com baixo peso molecular. A solubilidade das proteínas de amaranto em pH 7 foi ligeiramente inferior quando comparada à extração em pH 3. A extração com água é mais indicada pelo aumento no rendimento em relação à solução 0,4 M NaCl e semelhança da solubilidade das proteínas.

Com relação à produção de concentrado proteico, o processo de lavagem com ácido resulta em um concentrado com alto teor de proteínas possivelmente devido à diminuição de componentes não proteicos, além disso há o desdobramento parcial das proteínas, o que facilita a dissolução das proteínas durante a etapa de extração alcalina subsequente (BEJARANO – LUJAN; NETTO, 2010).

1.5 PROPRIEDADES FUNCIONAIS

O termo propriedade funcional é definido como toda propriedade não-nutricional que influi no comportamento das proteínas dos sistemas alimentares. A maioria das propriedades funcionais influencia as propriedades sensoriais, mas igualmente podem desempenhar importante papel nas propriedades físicas dos alimentos e de seus ingredientes durante o processamento, armazenamento, preparo e consumo (ORDÓÑEZ, 2005). 13

1.5.1 Solubilidade

As propriedades funcionais das proteínas são influenciadas pela solubilidade, sendo que as mais afetadas são espessamento, formação de espuma,

emulsificação e geleificação. A solubilidade da proteína é uma manifestação termodinâmica do equilíbrio entre interações proteína-proteína e proteína-solvente (DAMODARAN, 2010).

Analisando a solubilidade das proteínas do amaranto, Marcone e Kakuda (1999) observaram que a solubilidade máxima ocorre em pH extremos alcalino ou ácido. Segundo De Luquez et al. (1996), a solubilidade máxima do concentrado proteico de amaranto situa-se em torno de pH 11(94,3%) e a solubilidade mínima é obtida em pH 4,5 (5%).

Marcone e Kakuda (1999) observaram que apesar da globulina isolada de amaranto apresentar menor solubilidade após o aquecimento do que a globulina isolada de soja no pH 4 e 7 a 9, ela mostrou maior estabilidade ao calor.

1.5.2 Capacidade de Absorção de Água e Óleo

A capacidade de absorção de água de uma proteína está relacionada em parte a sua composição de aminoácidos, ou seja, quanto maior o número de resíduos carregados, maior a capacidade de absorção de água (DAMODARAN, 2010).

De acordo com Marcone e Kakuda (1999), o índice de absorção de gordura das proteínas de amaranto é de 704%. O mecanismo de absorção de gordura se atribui principalmente ao aprisionamento físico do óleo, além da hidrofobicidade.

O Quadro 3 apresenta os resultados obtidos por Ascheri et al. (2004) de índice de solubilidade em água (ISA, %) e índice de absorção de água (IAA) de algumas amostras de amaranto e amaranto com outros cereais. 14

Quadro 3 – Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) em diferentes ingredientes

FARINHAS	ISA (%)	IAA (%)
AMARANTO CRU	3,64	2,67
ARROZ CRU	1,05	6,36
FARINHA DE AMARANTO + ISOLADO PROTÉICO DE SOJA EXTRUSADO (20:80)	16,48	7,25
FARINHA DE MILHO E AMARANTO EXTRAUSADA (20:80)	11,61	6,35
FARINHA DE AMARANTO EXTRUSADO	19,54	86,85
FARINHA DE ARROZ E AMARANTO	13,92	6,83

Fonte: Ascheri, Carvalho e Spehar (2004)

1.5.3 Formação de Gel

A geleificação proteica consiste na formação de uma rede proteica a partir de proteínas previamente desnaturadas, desempenhando papel fundamental em determinados alimentos e em outras propriedades funcionais, como absorção de água, formação e estabilização de espumas e emulsões. Para que se forme o gel protéico é necessário que haja desnaturação e agregação posterior de forma ordenada, em que predominem as interações proteína-proteína (ORDÓÑEZ, 2005).

De acordo com Avanza, Puppò e Añon (2005), com o aumento da concentração de proteína (10 a 20% p/v), temperatura (70 a 95 °C) e tempo de aquecimento (10 a 30 minutos), os géis de isolados proteicos de amaranto formaram uma matriz mais ordenada, estabilizada principalmente por ligações dissulfeto e em menor extensão por interações não covalentes, principalmente ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas. Uma maior concentração de proteína levou à formação de matrizes com alta capacidade de retenção de água e uma maior temperatura de aquecimento produziu géis de maior transparência e baixa capacidade de retenção de água. As globulinas do amaranto (11S e P) participaram na estrutura do gel via formação de agregados de alta massa molar, maior do que 100 kDa.

1.5.4 Emulsificação

A emulsificação é uma propriedade funcional largamente utilizada na indústria de alimentos, sendo que os principais emulsificantes são proteínas e 15 fosfolipídios (VENTUREIRA; MARTINEZ; AÑON, 2010).

As proteínas possuem regiões hidrofílicas e hidrofóbicas, que podem se adsorver na interface óleo-água e tornar o sistema termodinamicamente estável. Essas proteínas podem formar um filme na interface, mantendo a emulsão por longos períodos (VENTUREIRA; MARTINEZ; AÑON, 2010).

A proteína do amaranto, na forma desnaturada, resulta em um filme rígido e viscoelástico e as emulsões têm maior estabilidade. No geral, a capacidade emulsificante do isolado proteico de amaranto é maior em pH de 3 a 9 quando comparado à do isolado proteico de soja. A máxima atividade de emulsão e estabilidade é em torno de pH 7 (MARCONE; FUKUDA, 1999).

O isolado proteico de amaranto obtido por precipitação isoelétrica contém principalmente a fração globulina, que quando adsorvida, desdobrada e reorganizada na interface forma um filme interfacial com uma emulsão relativamente estável e com uma baixa taxa de coalescência (FIDANTSI; DOXASTAKIS, 2001).

1.5.5 Espuma

A propriedade de uma proteína de formar espuma refere-se a sua capacidade de formar uma película fina e resistente na interface gás-líquido, de modo que grandes quantidades de bolhas de gás possam ser incorporadas e estabilizadas (DAMODARAN, 2010).

Segundo Marcone e Fukuda (1999), a capacidade máxima de formação de espuma no isolado proteico de amaranto foi encontrada em torno do seu ponto isoelétrico, fato compreensível pela falta de interações repulsivas que promovam mais interações proteína-proteína, e na formação de filmes mais viscosos na interface ar/água, além de aumento da quantidade de proteína a ser adsorvida. Esses fatores, em conjunto, melhoram tanto a formação de espuma quanto sua estabilidade.

Tomoskozi et al. (2008) observaram que preparações de frações proteicas de albumina de amaranto apresentam capacidade de formação e estabilidade da espuma semelhante a da caseína e da soja. 16

1.6 EFEITOS DO ENVELHECIMENTO NOS CONSTITUINTES QUÍMICOS DO GRÃO DE AMARANTO

A literatura não apresenta estudos a respeito das alterações químicas e físicas que ocorrem nos constituintes do amaranto durante seu envelhecimento e conseqüentemente, na funcionalidade das proteínas. Em leguminosas e oleanoginosas e alguns cereais há diversos estudos relatando alterações nos componentes químicos desses grãos durante armazenamento.

Estudos com o trigo mostram que durante a germinação desse cereal, ocorreu o aumento no teor das lipases, que agem sobre lipídeos levando à ocorrência da rancidez hidrolítica. Sendo assim, em farinhas de trigo armazenadas por longos períodos há um aumento da acidez, podendo, esta ser utilizada como medida objetiva da qualidade de um produto a base deste cereal. A melhoria na qualidade é atribuída a alguns fenômenos como: hidrólise gradual dos lipídeos, produzindo ácidos graxos e hidrólise de proteínas, produzindo aminoácidos ou produtos intermediários da decomposição da proteína (MIRANDA; EI DASH, 2002).

O aumento da acidez melhora a qualidade da proteína do trigo devido à forte repulsão eletrostática intramolecular causada pela alta carga líquida em valores extremos de pH, o que resulta em expansão e desdobramento da molécula proteica (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Rupollo et al. (2004) constataram decréscimo significativo do teor de lipídios em grãos de aveia em virtude de processos bioquímicos, como respiração ou processos de oxidação.

Rehman (2006) em estudo com grãos de arroz, milho e trigo observou alteração no pH e acidez titulável (redução e aumento respectivamente) durante o processo de armazenamento por até 6 meses.

O envelhecimento do arroz ocasiona as alterações nas propriedades físicas e químicas dos grãos. As propriedades de hidratação, inchaço, solubilidade, viscosidade são alteradas durante o armazenamento. Observou-se que os grânulos de amido de arroz armazenados (em frascos de vidro no escuro em temperatura que

variou de 4 a 27° C) eram mais resistentes ao aumento de volume do que os de arroz fresco. Além disso, a ruptura dos grânulos de amido após o cozimento foi significativamente reduzida pelo envelhecimento dos grãos (ZHOU et al.,2003).

O feijão envelhecido e armazenado em condições inapropriadas torna-se 17 endurecido e resistente ao cozimento devido a dois fatores: o endurecimento da casca ("hardshell"), no qual a casca torna-se impermeável à água, e o "defeito" difícil de cozinhar ("hard-to-cook" ou HTC), onde os grãos são capazes de absorver água, mas não amaciam durante o cozimento, mesmo estando completamente hidratados (REYES-MORENO; PAREDES LÓPEZ, 1993; BRESSANI, 1993).

Considera-se que o defeito HTC em feijão desenvolva durante o envelhecimento e maceração e se manifesta no cozimento. Durante o processo, há muitos eventos envolvidos como a formação de radicais livres, peroxidação lipídica, formação de ácido, deterioração da membrana, vazamento de eletrólitos, redistribuição iônica e desnaturação das proteínas, que estão associadas ao envelhecimento e maceração. No cozimento dos grãos HTC há limitada separação das células e os grãos não amaciam. Estes aspectos defeituosos resultam de propriedades básicas das células do grão HTC que se manifestam durante o cozimento: resistência da pectina da parede celular à degradação e à solubilização, e a coagulação proteica que prevalece sobre a gelatinização do amido, pois ambos competem pela água. Esta última propriedade resulta da diminuição da solubilidade e estabilidade térmica das proteínas intracelulares durante o envelhecimento dos grãos (LIU, 1995).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do envelhecimento nas características químicas e físicas de grãos de amaranto e nas propriedades funcionais dos concentrados proteicos de amaranto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a cor, composição química, acidez, de grãos de amaranto com diferentes tempos pós colheita, solubilidade e perfil eletroforético das proteínas;
- Obter concentrado proteico de amaranto com diferentes tempos pós-colheitas;
- Caracterizar físico-quimicamente os concentrados proteicos por meio de análises de cor, pH, acidez titulável, solubilidade e eletroforese das proteínas;
- Avaliar as propriedades funcionais (capacidade de absorção de água, capacidade de absorção de óleo, propriedade de formação de gel, propriedades emulsificantes, propriedades espumantes) dos concentrados proteicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA PRIMA

As duas amostras de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. variedade BRS-alegria) estudadas eram proveniente do município de Sorriso – MT e cultivadas nas mesmas condições adofoclimáticas. As semeaduras do amaranto foram realizadas em março de 2008 e 2010 e as colheitas em junho de cada ano. Após a colheita, os grãos de amaranto foram armazenados em condições de temperatura e umidade relativa ambiente no município de Sorriso - MT. O clima da região, segundo a classificação do Koppen, é do tipo AWI. A temperatura média anual é de 26°, com médias em torno de 37°C no mês mais quente (outubro) e 15°C no mês mais frio (junho). A média da umidade relativa do ar no município de Sorriso é de aproximadamente 80%. As amostras das duas safras foram recebidas em setembro de 2010 (no município de Londrina – PR) e imediatamente armazenadas em câmara fria à 4°C para minimizar a continuidade do envelhecimento (LIU, 1995). Assim, a amostra da safra 2008 tinha cerca de 27 meses após a colheita e da safra de 2010 cerca de 3 meses.

3.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS NOS GRÃOS INTEIROS E MOÍDOS

3.2.1 Capacidade de Absorção de Água pelos Grãos Inteiros de Amaranto

A capacidade de absorção de água foi determinada por meio da imersão de 10 gramas de grãos de amaranto em 150 mL de água destilada por 3 horas. As amostras foram colocadas em banho (marca Marconi, modelo MA 127) à temperatura controlada de 60°C. Em intervalos regulares, foram removidas do banho e a absorção determinada. Para isso, os grãos foram rapidamente removidos do banho e superficialmente secos com um papel de filtro, a fim de eliminar a água superficial, e então pesados para determinar a quantidade de água embebida (CALZETTA-RESIO; AGUERRE; SUÁREZ, 2003).

3.2.2 Cor dos Grãos Inteiros de Amaranto

Para avaliação da cor foi utilizado o colorímetro Konica Minolta, modelo CR 400). O aparelho utilizado tinha como especificação: área de leitura 11 mm, 20 iluminante CIE D65, iluminação em um ângulo de 45°, ângulo de observação de 0° e observador padrão CIE 10°. O colorímetro forneceu diretamente os

parâmetros L^* (luminosidade), a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul). As amostras foram dispostas no recipiente próprio do equipamento para leitura.

3.2.3 Moagem dos Grãos

Os grãos foram limpos e moídos (moinho Ika, modelo A11 basic 29.000) até transpor a malha de uma peneira de 60 mesh e homogeneizados para as análises a seguir.

3.2.4 Composição Química dos Grãos Moídos

Foram avaliados:

- Teor de umidade: método de secagem em estufa a 105°C (AOAC, 1997);
- Proteínas: método de semi-micro Kjeldahl (AOAC, 1997) utilizando o fator de conversão 6,25;
- Lipídios: método de Soxhlet (AOAC, 1997);
- Cinzas: método de incineração em forno mufla a 550°C (AOAC, 1997);
- Fibra alimentar: método enzimático- gravimétrico (AOAC, 1997);
- Carboidrato: por diferença.

3.2.5 Cor das Amostras Moídas

A cor das amostras moídas foi avaliada conforme metodologia descrita no item 3.2.2.

3.2.6 pH das Amostras Moídas

Determinou-se o pH das amostras utilizando potenciômetro digital (Hanna instruments, modelo Hi 3221), previamente calibrado com soluções tampão fosfato comerciais pH 4,0 e 7,0.

3.2.7 Acidez Titulável das Amostras Moídas

A acidez titulável das amostras foi determinada segundo AOAC (1997) com modificações. 2,5 gramas da amostra moída foram diluídos em água suficiente para totalizar 25 mL de solução. As soluções foram tituladas com NaOH 0,1 N até alcançar o pH de 8,3. O resultado foi expresso em porcentagem (%).

3.2.8 Solubilidade das Proteínas em Água dos Grãos Moídos

A solubilidade proteica foi determinada de acordo com Morr et al. (1985) com modificações. Preparou-se uma suspensão de 0,25 gramas da amostra moída em 12,5 mL de água destilada. As soluções foram submetidas à agitação por 1 hora e centrifugadas em a temperatura ambiente com $\pm 21^{\circ}\text{C}$ (centrífuga de marca Harrier, modelo MSE 15/80) a 2400 G por 20 minutos. O teor de nitrogênio nas amostras e frações solúveis foi determinado por meio do método de Kjeldahl com fator de conversão de 6,25. A fração solúvel de proteína foi calculada pela equação 1.

$$\text{SOLUBILIDADE} = \frac{\text{PROTEINA SOBRENADANTE} \times 100}{\text{PROTEINA TOTAL}} \quad (\text{Equação 1})$$

3.2.9 Solubilidade das Proteínas dos Grãos em Diferentes phs

A solubilidade proteica em diferentes pH's foi determinada de acordo com MORR et al. (1985) com modificações. Preparou-se uma suspensão de 0,25 gramas da amostra moída em 12,5 mL de água destilada e o pH da solução foi ajustado com ácido clorídrico 0,1 mol/L e NaOH 0,1 mol/L na faixa de pH de 2, 4, 6, 8 e 10. Em seguida, essas soluções foram submetidas à agitação por 1 hora e centrifugadas em a temperatura ambiente de $\pm 21^{\circ}\text{C}$ (centrífuga de marca Harrier, modelo MSE 15/80) a 2400 G por 20 minutos. O teor de nitrogênio nas amostras e frações solúveis foi determinado por meio do método de Kjeldahl com fator de conversão de 6,25. As frações solúveis de proteína em cada pH foi calculada pela equação 1.

3.2.10 Eletroforese de Proteínas dos Grãos Moídos

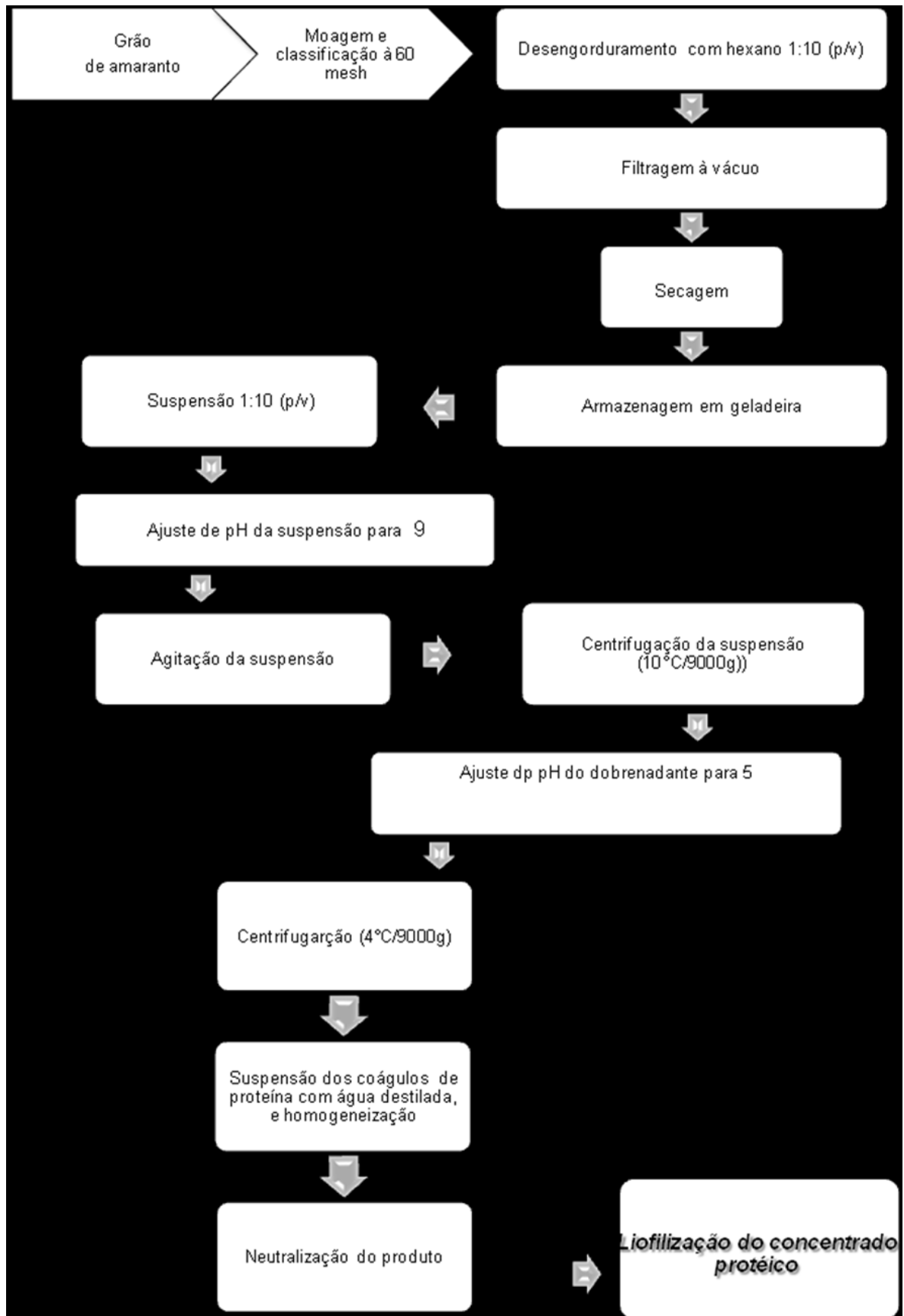
O perfil das proteínas foi determinado por eletroforese em gel de poliacrilamida contendo dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE), segundo a metodologia descrita por Laemmli (1970). Nesta metodologia dois tipos de géis são usados: gel de separação (12%) e gel de empilhamento (4%). Amostras contendo 0,4% de proteína foram diluídos em 5 mL de tampão redutor (Tris-HCl 62,5 mM, pH 6,8, SDS 2%, glicerol 20%, β -mercaptoetanol 5% e azul de bromofenol 0,1%) e aquecidos a 90 °C por 5 minutos. Posteriormente volumes de 10 μ L das soluções das amostras foram aplicados nos géis. O padrão de 10 a 220 kDa (Bench Mark, cód. 10747-012, Invitrogen) foi utilizado para determinação da massa molecular das frações proteicas. Após a corrida, os géis foram corados com Coomassie Blue G-250 0,1% e descorados em solução ácido acético/metanol/água (1:4:5).

3.3 PREPARO DOS CONCENTRADOS PROTÉICOS DE GRÃOS DE AMARANTO

Os concentrados proteicos foram preparados a partir dos grãos moídos e desengordurados. As amostras foram desengorduradas com hexano (1/10, peso por volume) à temperatura ambiente por 24 horas, sob agitação contínua durante as primeiras 5 horas. Após secagem à temperatura ambiente, as amostras foram estocadas a 4°C até a utilização (VENTUREIRA; MARTÍNEZ; AÑÓN, 2010). O teor de lipídios das amostras desengorduradas foi determinado de acordo com métodos da AOAC (1997) e resultou em redução de aproximadamente 72% de lipídios.

Os concentrados proteicos de amaranto foram obtidos de acordo com a metodologia de Martinez e Añón (1996), onde as amostras desengorduradas foram suspensas em água na proporção de 1:10 (p/v). As suspensões tiveram o pH ajustado para 9,0 por meio da adição de NaOH 2M, agitada por 60 minutos em temperatura ambiente e então centrifugadas (centífuga refrigerada Eppendorf 58042) por 20 minutos a 9000g e 10 °C. Os sobrenadantes tiveram o pH ajustado para 5, utilizando-se HCl 2M e em seguida, foram centrifugados a 9000g por 20 minutos a 4° C. Os precipitados foram suspensos em água neutralizada com NaOH 0,1 M e liofilizados (Figura 1).

Figura 1 – Etapas de obtenção do concentrado proteico a partir do grão de amaranto



3.3.1 Rendimento do Concentrado Protéico de Amarantho

O rendimento do concentrado proteico foi calculado dividindo-se a massa do concentrado liofilizado obtido pela massa dos grãos moídos e secos utilizados, e multiplicado por 100.

3.3.2 Determinação do Teor de Umidade e Proteínas dos Concentrados Proteicos

O teor de umidade e proteínas dos concentrados proteicos foram medidos conforme o descrito no item 3.2.4.

3.3.3 Cor dos Concentrados Proteicos

A medida de cor foi realizada conforme o item 3.2.5.

3.3.4 pH dos Concentrados Proteicos

Determinou-se o pH de acordo com a metodologia descrita no item 3.2.6.

3.3.5 Perfil de Solubilidade das Proteínas dos Concentrados em Diferentes pH's

A solubilidade em diferentes pH's dos concentrados proteicos foi determinada de acordo com a metodologia descrita no item 3.2.9.

3.3.6 Eletroforese das Proteínas dos Concentrados

O perfil das proteínas foi determinado por eletroforese em gel de poliacrilamida de acordo com a metodologia descrita no item 3.2.9.

3.4 PROPRIEDADES FUNCIONAIS DOS CONCENTRADOS PROTEICOS

3.4.1 Capacidade de Absorção e Retenção de Água

Determinou-se a capacidade de absorção de água segundo o método descrito por Okezie; Bello (1988) com modificações.

Foi preparada uma suspensão com 25 mL de água destilada e 0,5 g de amostra. Em seguida, colocada em tubo cônico de centrífuga graduado de 12 mL. O conteúdo foi agitado em agitador de tubos. Após um período de descanso de 30 minutos, o material foi centrifugado a 1400 G por 25 minutos em temperatura ambiente.

A diferença entre a quantidade de água adicionada e a água sobrenadante foi tomada como medida aproximada da capacidade de absorção e retenção de água, sendo expressa como a quantidade de água (mL) por 100 g de amostra.

3.4.2 Capacidade de Absorção e Retenção de Óleo

A capacidade de absorção de óleo foi medida similarmente à capacidade de absorção de água (item 4.4.1), substituindo a água por óleo de milho (marca Suavit).

3.4.3 Capacidade de Formação de Gel

Verificou-se a formação de gel conforme o método descrito por Coffmann e Garcia (1977). Tubos de ensaio contendo dispersões de amostra em água destilada nas concentrações de 2 a 14% foram aquecidos (banho Marconi, modelo MA 127) a 90 °C por 30 minutos, resfriados à temperatura ambiente e refrigerados a 4 °C por 12 horas. Os resultados foram expressos com base na formação de gel a partir da menor concentração da amostra.

3.4.4 Propriedades Emulsificantes

A capacidade emulsificante foi medida de acordo o método de Beuchat (1977).

Foram homogeneizados 2 g de amostra (base seca) em 100 mL de água destilada em liquidificador em velocidade baixa (marca britânia). Após 30 segundos em dispersão, foi adicionado óleo de milho à mistura em agitação através de uma bureta, numa vazão de 2 mL/minuto. O ponto de inversão de fase foi registrado através de um aumento na resistência elétrica da emulsão, utilizando-se um voltímetro (marca Dawer, mod. DM 2020).

A capacidade emulsificante foi calculada com a quantidade de óleo emulsificado por grama de proteína na amostra.

A estabilidade de emulsão foi medida de acordo com Yasumatsu et al. (1972). Preparou-se uma suspensão com 1 grama de amostra em 10 mL de água destilada e 20 mL de óleo de milho (marca Suavit) em béquer de 100 mL. A suspensão foi emulsificada em agitador de haste por 1 minuto em velocidade moderada.

A emulsão preparada foi aquecida em banho-maria (marca Marconi, modelo MA 127) a 80°C por 30 minutos e em seguida resfriada em água corrente por 15 minutos. A emulsão foi dividida em tubos graduados de centrifuga e centrifugados a 800 G por 5 minutos em temperatura ambiente.

A estabilidade de emulsão foi calculada pela equação 2:

$$\text{ESTABILIDADE DE EMULSÃO} = \frac{\text{VOL. DA CAMADA EMULSIFICADA REMANESCENTE} \times 100}{\text{VOL. TOTAL DA CAMADA EMULSIFICADA NO TUBO}} \quad (\text{Equação 2})$$

3.4.5 Propriedades Espumantes

A capacidade de formação de espuma foi medida pelo método de Coffmann e Garcia (1977).

Preparou-se uma suspensão com 100 mL de água destilada em 2 g de amostra em um béquer de 250 mL. A suspensão foi agitada em agitador de haste

por 5 minutos com agitação moderada. Em seguida, foi transferida a dispersão para uma proveta graduada de 250 mL.

O aumento percentual do volume foi calculado com base nos volumes inicial e final após a formação de espuma, de acordo com Coffmann e Garcia (1977), conforme a equação 3:

$$\% \text{ AUMENTO DE ESPUMA} = \frac{(\text{VOLUME FINAL} - \text{VOLUME INICIAL}) \text{ ML} \times 100}{\text{VOLUME FINAL}} \quad (\text{Equação 3})$$

A proveta contendo a espuma obtida foi mantida em repouso à temperatura ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) e medida a estabilidade da espuma em intervalos de 30, 60, 90 e 120 minutos por meio da porcentagem de espuma remanescente.

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os experimentos foram conduzidos de acordo com um delineamento inteiramente casualizado com duas repetições. As medidas foram realizadas em triplicata em cada repetição do experimento. Para análise de absorção de água pelo grão, perfil de solubilidade em diferentes pH's e estabilidade de espuma, utilizou-se esquema de tratamentos em parcelas subdivididas, sendo que o tratamento principal tempo de envelhecimento do grão e os tratamentos secundários o tempo de absorção de água, ou pH ou tempo de estabilidade de espuma. Os resultados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e teste " t " de comparação de médias, utilizando-se o programa estatístico SAS 9.2 (Statistical Analysis System). O nível de significância empregado foi igual ou menor que 5%.

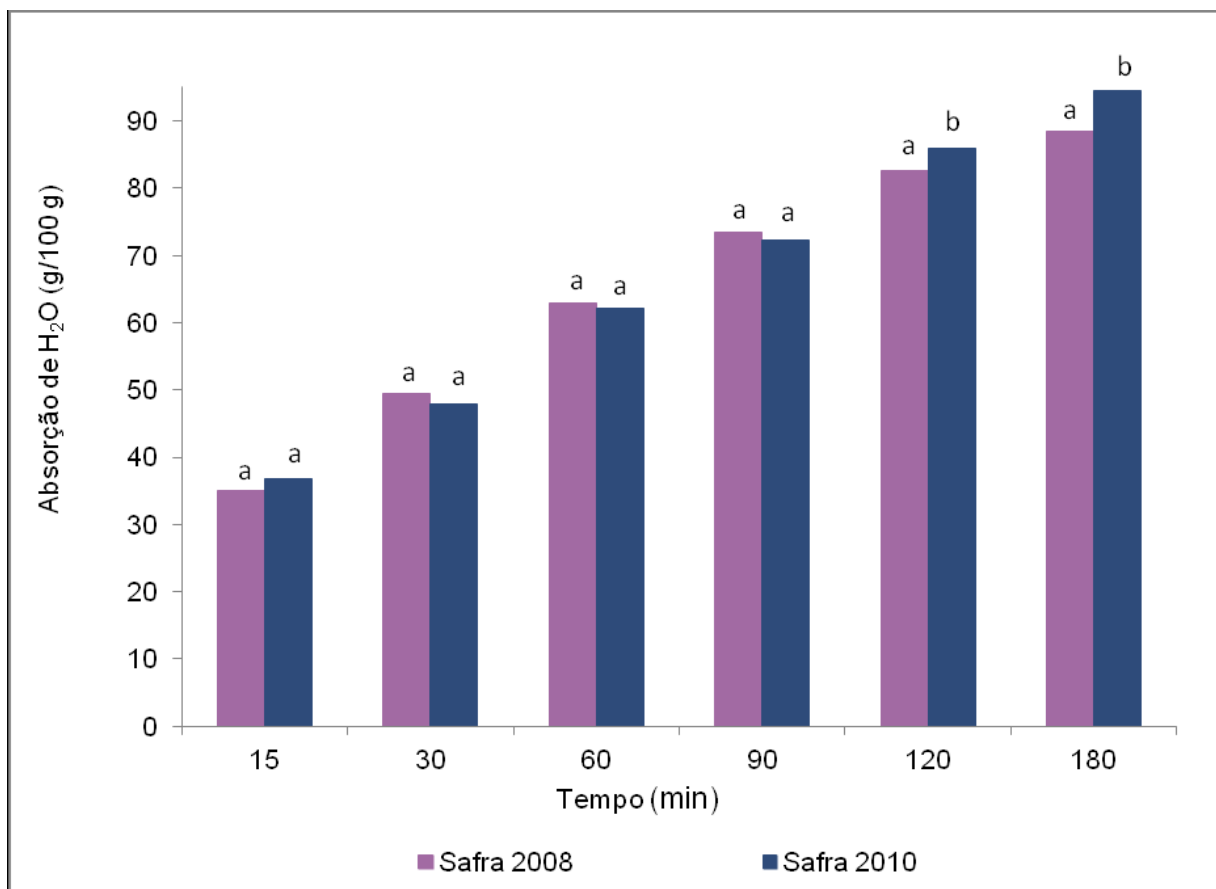
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS GRÃOS INTEIROS E MOÍDOS

4.1.1 Absorção de Água pelos Grão

Os resultados de absorção de água pelos grãos estão apresentados na figura 2. Nota-se que houve uma maior absorção de água pelos grãos, das duas amostras, durante as fases iniciais de hidratação. Esse fato pode ter ocorrido devido a estrutura das camadas mais externas do grão, ou seja, o revestimento do grão e pericarpo, que são relativamente porosos parecem atingir rapidamente o equilíbrio com a água (CALZETTA-RESIO et al., 2003).

Figura 2 – Absorção de água pelos grãos de amaranto das safras de 2008 e 2010.



Letras diferentes em cada tempo indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Diferenças entre as amostras foram notadas a partir de 120 minutos sendo que as amostras com maior tempo de pós-colheita (safra 2008) apresentaram menor absorção de água.

De acordo com Carbonell et al. (2003), considerando-se a interferência das características do tegumento dos grãos, como espessura, peso, aderência aos cotilédones, elasticidade, porosidade e propriedades coloidais, na absorção de água ou hidratação dos grãos em função do genótipo e das condições ambientais a que esses grãos são submetidos durante todo o seu desenvolvimento. Provavelmente, durante o envelhecimento deve ter ocorrido alterações físicas no tegumento dos grãos e nos cotilédones dificultando absorção de água.

4.1.2 Cor dos Grãos Inteiros

Os resultados obtidos para parâmetros de cor são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de cor dos grãos de amaranto

Propriedade	Safra 2008	Safra 2010
L	64,37 ± 0,67 ^b	66,21 ± 0,36 ^a
a*	7,72 ± 0,23 ^a	7,33 ± 0,16 ^b
b*	31,09 ± 0,68 ^a	30,76 ± 0,37 ^a

Valores representam a média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. L* variando de 0 (preto) à 100 (branco); a* variando de vermelho (+a*) ao verde (-a*) e b* variando de amarelo (+b*) ao azul (-b*).

Houve diferença de cor significativa entre as amostras de 2008 e 2010, revelada pelo aumento do parâmetro a* e redução do parâmetro L* com o envelhecimento pós colheita. Esses resultados indicam que as cascas dos grãos se tornaram mais avermelhadas e mais escuras. Vieira et al. (2006) constataram aumento do parâmetro a* no armazenamento de 60 dias (condições ambientes) em grãos de feijão. Porém para Rigueira et al. (2009) a cor de amostras de feijão, não sofreu alteração após o armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias) em câmara fria.

De acordo com Rios et al. (2003) em estudo sobre o efeito do armazenamento do feijão, o teor de compostos fenólicos aumentou durante o período de armazenamento, fato que possivelmente tenha ocorrido no amaranto levando a um escurecimento do grão.

De acordo com Whitehead e Swardt (1982), a oxidação enzimática de compostos fenólicos pela peroxidase e polifenoloxidase resulta, reconhecidamente, no escurecimento de tecidos vegetais. Assim, o maior escurecimento do tegumento, durante o armazenamento, em relação ao dia da colheita, pode estar relacionado à oxidação dos compostos fenólicos pela enzima peroxidase.

Rios et al. (2002) em estudo com feijão, observou que a atividade enzimática aumentou consideravelmente durante o tempo de armazenamento (em média, 6 a 8 vezes a atividade inicial). A cor mais escura do tegumento, após esse armazenamento, pode ser consequência do aumento da atividade da enzima polifenoloxidase associada à atividade da enzima peroxidase.

4.1.3 Composição Química

A composição química do amaranto está apresentada na Tabela 2. Verificou-se que não houve diferença significativa entre as amostras das safras de 2008 e 2010, exceto para teores de umidade, cinzas e fibra insolúvel.

Foi observado que o teor de umidade foi maior para as amostras com maior tempo pós colheita (safra 2008). Isso pode ter ocorrido pelo maior tempo de armazenamento em condições ambiente no município de Sorriso-MT, onde a UR média é de 80%. Verificou-se que o teor de cinzas reduziu com o envelhecimento.

Tabela 2 – Composição centesimal das amostras de amaranto

	Safra 2008	Safra 2010
Umidade	10,25 ± 0,05 ^a	9,22 ± 0,10 ^b
Cinzas*	1,98 ± 0,08 ^b	2,24 ± 0,10 ^a
Proteínas*	16,83 ± 0,47 ^a	16,91 ± 4,29 ^a
Lipídios*	7,11 ± 0,34 ^a	7,02 ± 0,35 ^a
Fibra total*	9,76 ± 0,19 ^a	9,53 ± 0,36 ^a
Fibra insolúvel*	7,90 ± 0,17 ^a	7,60 ± 0,32 ^b
Fibra solúvel*	1,85 ± 0,10 ^a	1,94 ± 0,13 ^a
Carboidratos*	64,32	64,28

Valores representam a média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (*) resultados expressos em g/100 gramas de amostra (base seca) Teor de proteína: N x 6,25 Carboidratos totais (incluindo fibras) calculados por diferença.

Valores similares para a composição do grão de amaranto recém colhidos foram reportados por Amaya-Farfan et al. (2003), Calzetta Resio et al.(2000) e Assis Bianchini (2010).

4.1.4 Cor dos Amarantos Moídos

Após a moagem dos grãos, as amostras não apresentaram diferença nos parâmetros L* e b*, mas notou-se que as amostras com o maior tempo pós colheita apresentaram menor valor de a* (Tabela 4), sendo inverso ao que ocorreu no grão inteiro (casca). Fato esse que não foi compreendido.

Gutkoski et al. (2008) constatou o aumento do parâmetro L* e redução do componente b* (amarelo) nos grão moídos de trigo.

Tabela 3 – Parâmetros de cor dos grãos moídos de amaranto

Propriedade	Safra 2008	Safra 2010
L*	84,84 ± 0,61 ^a	83,18 ± 0,60 ^b
a*	3,18 ± 0,16 ^b	3,39 ± 0,13 ^a
b*	16,28 ± 0,31 ^a	16,05 ± 0,60 ^a

Valores representam a média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. L* variando de 0 (preto) à 100 (branco); a* variando de vermelho (+a*) ao verde (-a*) e b* variando de amarelo (+b*) ao azul (-b*).

4.1.5 pH, Acidez e Solubilidade em Água das Proteínas dos Grão Moídos

Comparando-se o pH das amostras de amaranto, verifica-se que o resultado para o amaranto de 2008, com maior tempo pós colheita, foi menor que de 2010. Verificou-se também maior acidez titulável no amaranto 2008 em relação ao amaranto de 2010 (tabela 3).

Tabela 4 Medida de pH e acidez titulável das amostras de amaranto

	Safra 2008	Safra 2010
pH	6,76 ± 0,03 ^b	6,97 ± 0,03 ^a
Acidez titulável (%)	6,28 ± 0,08 ^a	5,28 ± 0,03 ^b
Solubilidade das proteínas em água (g/100g)	56,62 ± 0,78^b	58,63 ± 0,62^a

Valores representam a média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Rehman (2006) obteve resultados semelhantes em seu estudo sobre o efeito do armazenamento na qualidade nutricional de arroz, milho e trigo. Esse fato é atribuído ao aumento da concentração de ácidos graxos livres e fosfatos resultantes do envelhecimento do grão durante o armazenamento.

Os primeiros sinais de envelhecimento em grãos estão relacionados com a perda de integridade das membranas celulares devido ao aumento da atividade de enzimas envolvidas na respiração. A fosfatase ácida participa da reação de hidrólise de ésteres e de poder ocasionar a peroxidação de fosfolipídios das membranas levando a perda da integridade. Também há perda da compartimentalização dos constituintes celulares e desencadeamento de reações de hidrólise e oxidação dos triacilgliceróis e ácidos graxos insaturados respectivamente (SANTOS et al., 2005). Os produtos de deterioração dos lipídios podem ocasionar o aumento de acidez nos tecidos (LIU, 1995).

Notou-se que a solubilidade das proteínas em água foi menor na amostra com maior tempo pós-colheita (Tabela 4). Esse fato pode estar relacionado a uma possível agregação e desnaturação parcial da proteína devido a maior acidez do tecido na amostra, conforme o relatado em diversos grãos envelhecidos (LIU, 1995; DONADEL; PRUDENCIO – FERREIRA, 1999; THOMAS et al. 1989; HOU; CHANG, 2004 a, 2004 b; COELHO et al., 2011).

4.1.6 Perfil de Solubilidade das Proteínas em Diferentes pH's

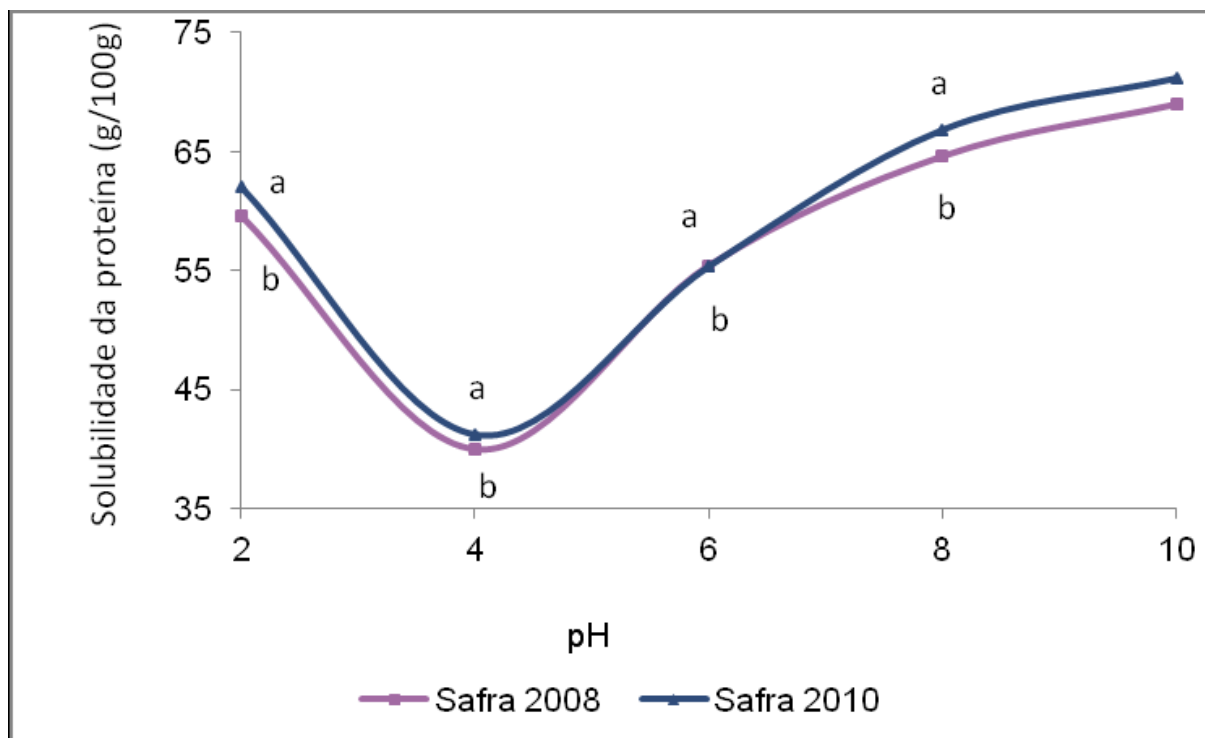
De acordo com os resultados, observou-se maior solubilidade para as proteínas do amaranto com menor tempo pós-colheita em todos os pH's (Figura 3).

Conforme já mencionado, com o tempo prolongado de armazenamento pode ter havido a produção de ácidos no tecido e conseqüentemente ter ocorrido desnaturação parcial das proteínas, reduzindo assim a sua solubilidade.

Os resultados do teste de solubilidade mostram que a solubilidade da proteína é mais elevada em pH superior a 8. O pH de menor solubilidade foi de 4,0. Os valores para solubilidade em função do pH para as amostras de amaranto foram semelhantes aqueles encontrados por muitos pesquisadores, cujos valores mínimos (pontos isoelétricos) encontram-se na faixa de pH de 4 e 5 (BEJARANO-

LUJAN; NETTO, 2010; MARCONE; KAKUDA, 1999; TOMOSKOZI et al., 2007) e Auler (2002) encontrou valor mínimo de solubilidade em pH 4,25 e máximo de solubilidade em pH 11. 33

Figura 3 – Perfil de solubilidade das proteínas das amostras de amaranto em função do pH.



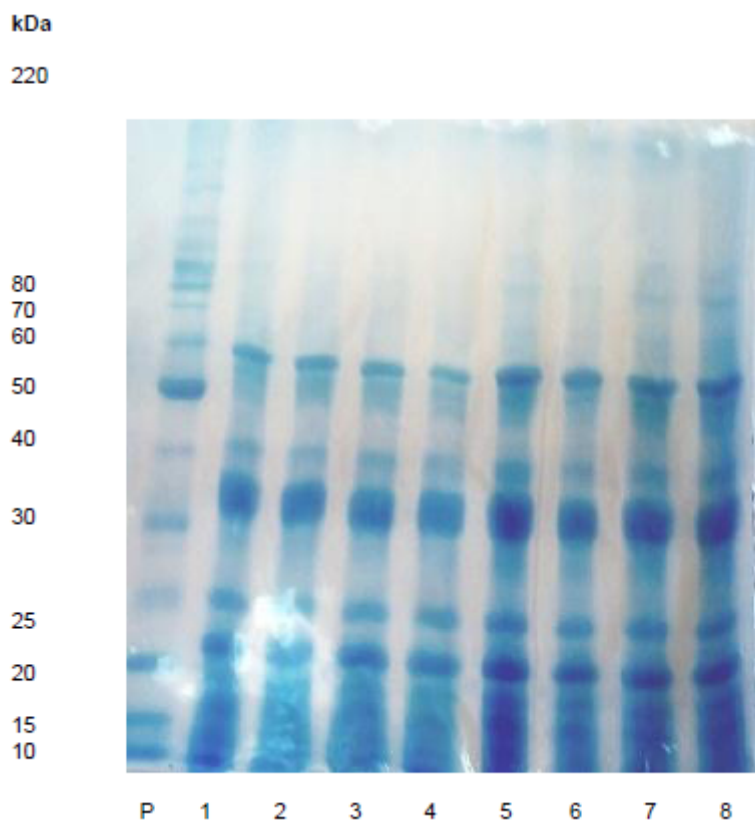
Letras diferentes em cada pH indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$)

4.1.7 Eletroforese de Proteínas dos Grãos Moídos

Os perfis eletroforéticos das amostras de amaranto de 2008 e 2010 estão apresentados na Figura 4. Foram observadas frações proteicas na faixa de 10 a 60 kDa.

Para Mendonça (2009) o perfil eletroforético dos grãos moídos de amaranto, apresentou distribuição de massa molecular na faixa de 4,9 a 86,5 kDa.

Figura 4 – Perfil eletroforético SDS-PAGE de proteína de grão de amaranto de 2008 e 2010. Coluna P – padrão; colunas 1 e 2 (amaranto repetição 1 safra 2008); colunas 3 e 4 (amaranto repetição 2 safra 2008); colunas 5 e 6 (amaranto repetição 1 safra 2010); colunas 7 e 8 (amaranto repetição 2 safra 2010).



Não houve diferença no perfil eletroforético das proteínas das duas amostras (Figura 4). Provavelmente a menor solubilidade das proteínas de amaranto mais velho (safra 2008) esteja associada a uma desnaturação parcial, causada por mudanças moleculares, como o aumento de interações intramoleculares (com maior agregação das moléculas), mas sem alteração das massas moleculares e perfil eletroforético conforme o relatado em soja envelhecida (HOU e CHANG, 2004, a e b).

4.2 CONCENTRADOS PROTEICOS DE AMARANTO

4.2.1 Rendimento dos Concentrados Proteicos de Amaranto

Obteve-se 9,62 % de rendimento de concentrado proteico para as amostras de 2008 e 11,06 % para as amostras de 2010. Portanto o tempo de

armazenamento após colheita interfere no rendimento do concentrado proteico de amaranto. A redução de extração de proteínas pode ser devido a redução da solubilidade e desnaturação das proteínas causada pelo aumento de acidez (redução do pH) durante o envelhecimento (HOU; CHANG, 2004 a, 2004 b). Martinez; Anon (1996) obtiveram rendimento de 12,4% em pH 11 em amostras recém colhidas.

4.2.2 Características Químicas e Físicas dos Concentrados Proteicos de Amaranto

Algumas características químicas e físicas dos concentrados proteicos de amaranto das safras 2008 e 2010 estão na tabela 4.

Tabela 5 – Parâmetros químicos e físicos dos concentrados proteicos de amaranto

	Safra 2008	Safra 2010
Umidade	8,1 ± 0,36 ^a	7,83 ± 0,38 ^a
Proteínas	78,95 ± 0,62 ^a	78,55 ± 0,38 ^a
pH	6,75 ± 0,03 ^a	6,59 ± 0,03 ^b
L*	80,32 ± 0,70 ^a	79,77 ± 0,59 ^a
a*	2,00 ± 0,05 ^b	2,16 ± 0,10 ^a
b*	11,81 ± 0,36 ^a	12,28 ± 0,33 ^a

Valores representam a média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Teor de proteína : N x 6,25 (% base seca) L* variando de 0 (preto) à 100 (branco); a* variando de vermelho (+a*) ao verde (-a*) e b* variando de amarelo (+b*) ao azul (-b*).

O teor médio de umidade dos concentrados foi de 7,9. Esses valores estão próximos à umidade do concentrado proteico de amaranto preparado por Fidantsi; Doxastakis (2001).

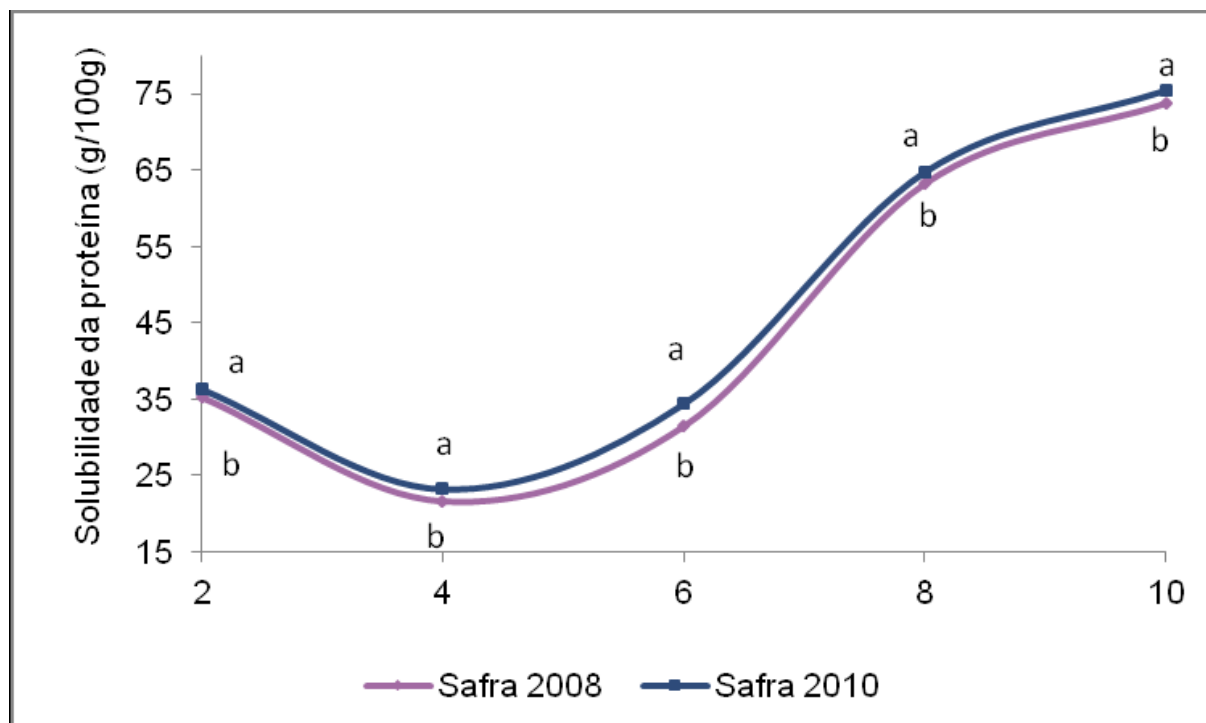
Observou-se que não houve diferença significativa no teor de proteínas do concentrado proteico de amaranto, apesar da diferença de rendimento entre as safras de 2008 e 2010. O teor médio encontrado (78,5%) está próximo aos relatados na literatura. Bejarano-lujan encontrou valor de 73,6% de proteína, Martinez e Anon(1996) encontraram 80% de proteína extraída. Salcedo-chávez encontrou 81,7% de proteína em pH de extração 9 e de precipitação 4,5.

Observou-se que o pH final no concentrado proteico de amaranto de 2008 foi maior ao da em safra de 2010.

De acordo com os resultados da tabela 4 observou-se diferença de cor entre os concentrados somente em relação ao parâmetro a^* , que foi menor nas amostras de 2008, ou seja, o concentrado era menos vermelho que é obtido do amaranto de 2010, conforme observado nos grãos moídos (Tabela 2). Valores semelhantes foram encontrados por Marcone e Kakuda, (1999) em globulinas isoladas de amaranto para os parâmetros L^* e b^* , porém o valor de a^* observada pelos autores foi inferior (1,6) ao presente trabalho.

Os valores para solubilidade de proteínas em função do pH dos concentrados amaranto (Figura 5) foram semelhantes aqueles encontrados por muitos pesquisadores (SALCEDO-CHÁVEZ et al., 2002; TOMOSKOZI et al., 2007, BEJARANO-LUJÁN., 2010) cujos valores mínimos (pontos isoelétricos) encontram-se na faixa de pH de 4 e 5 e valores mais elevados em pH's distantes do isoelétrico. Salcedo-Chavez et al. (2002) encontraram valores mínimo de solubilidade em pH 4 e máximo em pH 11.

Figura 5 – Perfil de solubilidade dos concentrados proteicos de amaranto em função do pH



Letras diferentes em cada pH indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

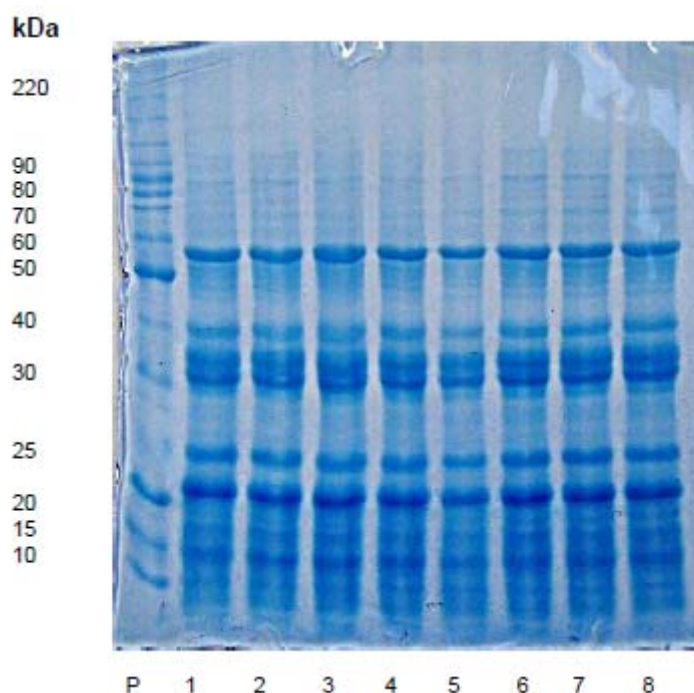
Tal como o resultado da solubilidade das proteínas, em diferentes pH's, dos grãos moídos de amaranto (Figura 3), o resultado para os concentrados

foram semelhantes. A solubilidade proteica dos concentrados de 2008 foram menores em relação aos das amostras de 2010 (Figura 5). Resultados foram semelhantes aos observados por Ribeiro et al. (2009) em concentrado de feijão preto armazenado em condições adversas (41° C, 75% UR por 30 dias), mas não concordam com Donadel e Prudencio-Ferreira (1999), onde a solubilidade aumentou nos concentrados proteicos de feijão carioca envelhecido à 41° C até 40 dias.

Os perfis eletroforético dos concentrados proteicos de amaranto das safras de 2008 e 2010, estão na Figura 6. Foram observadas frações proteicas na faixa de 10 a 110 kDa. Mendonça (2006) encontrou frações na faixa de 6 a 85 kDa em proteína isolada de amaranto.

Bandas de massa molar superior a 30 kDa correspondem aos componentes das frações albumina-2, globulinas e glutelinas. Enquanto que no amaranto bandas com massa molar abaixo de 30 kDa correspondem a albumina-1 (KONISHI et al., 1991; SEGURA-NIETO et al., 1994; MARTÍNEZ e AÑÓN, 1996).

Figura 6 – Perfil eletroforético SDS-PAGE dos concentrados proteicos de amaranto de 2008 e 2010. Coluna P – padrão; colunas 1 e 2 (concentrado proteico de amaranto lote 1 safra 2008); colunas 3 e 4 (concentrado proteico de amaranto lote 2 safra 2008); colunas 5 e 6 (concentrado proteico de amaranto lote 1 safra 2010); colunas 7 e 8 (concentrado proteico de amaranto lote 2 safra 2010).



Não foram observadas diferenças entre os perfis eletroforéticos dos concentrados (Figura 6). Resultado diferente foi relatado por Ribeiro et al. (2009), em estudo sobre a solubilidade das proteínas de concentrado proteico de feijão comum envelhecido, onde observaram perda de proteínas de massa molecular mais baixa (30 kDa).

4.2.3 Propriedades Funcionais de Concentrados Proteicos de Amaranto

Os resultados da avaliação das propriedades funcionais estão na Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades funcionais de concentrados proteicos de amaranto

	Safra 2008	Safra 2010
CAA	0,59 ± 0,02 ^b	0,71 ± 0,03 ^a
CAO	4,66 ± 0,23 ^b	5,52 ± 0,27 ^a
CE	86,58 ± 2,29 ^a	88,40 ± 2,11 ^a
EEm	16,45 ± 0,52 ^a	10,60 ± 0,18 ^b
CFE	62,33 ± 2,65 ^a	63,50 ± 1,67 ^a
EEsp	46,39 ± 1,19 ^a	42,41 ± 0,57 ^b
CFG*	7%	7%

Valores representam a média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CAA: capacidade de absorção de água; CAO: capacidade de absorção de óleo; CE: capacidade emulsificante; EE m: estabilidade de emulsão; CFE: capacidade de formação de espuma; EEsp: estabilidade de espuma (120 minutos de repouso); CFG*: formação de gel, expressa na menor concentração da amostra.

Observou-se menor absorção de água e de óleo nos concentrados proteicos de amaranto da safra de 2008. A ligação de água e óleo depende do número de grupamentos polares e não polares, respectivamente, expostos nas moléculas de proteínas (DAMODARAN, 2010). A menor absorção de água e óleo pode ter ocorrido pela maior agregação das moléculas de proteínas do concentrado da amostra com maior tempo pós-colheita, provocando menor disponibilidade sítios hidrofílicos para ligar a água e hidrofóbicos para ligar o óleo.

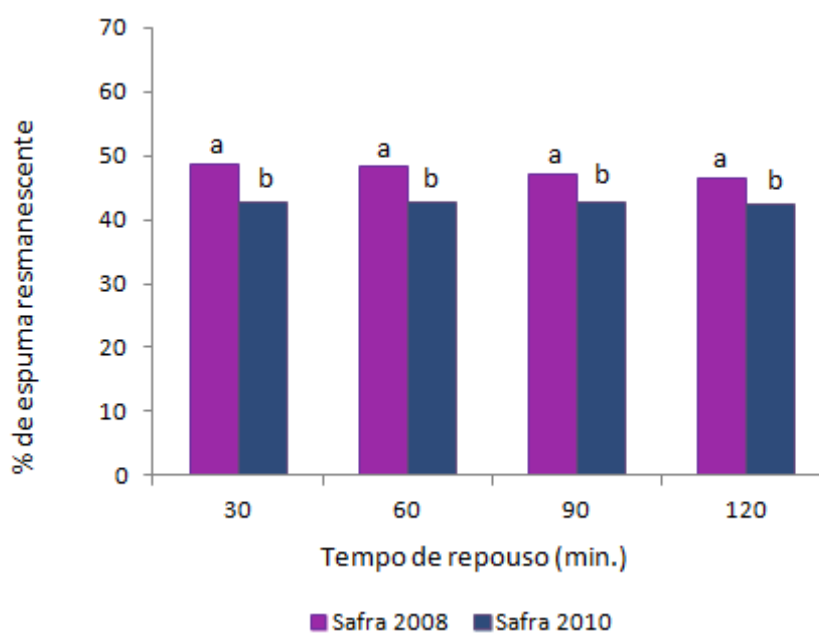
Rios et al. (2003) observaram em seu estudo sobre o efeito da estocagem de três cultivares de feijão que também ocorreu uma redução na absorção de água com o armazenamento.

Não foram observadas diferenças entre os concentrados em relação a capacidade emulsificante e de formação de espuma (Tabela 6), mas em relação a estabilidade de emulsão e estabilidade de espuma, o concentrado proteico de amaranto da safra 2008 apresentou valores mais elevados (Tabela 6, Figura 7).

O calor produz moléculas de proteínas desnaturadas e quando estas moléculas são adsorvidas na interface água-óleo durante o processo de emulsificação resulta num filme é mais rígido e viscoelástico e as emulsões com uma estabilidade mais elevada. As propriedades de formação de espuma e emulsificantes das proteínas de amaranto estão relacionadas tanto com o processo de transformação e para a composição de proteína (FIDANTSI; DOXASTAKIS, 2001).

Ao injetar ar para dentro de uma solução de proteínas, o aprisionamento em que a espuma de bolhas ocorre como resultado de adsorção de moléculas de proteínas na superfície. Os requisitos básicos para uma proteína para ser um bom agente espumante são a capacidade de: (a) adsover rapidamente na interface ar-água; (b) se rearranjar na interface, (c) formar uma coeso filme viscoelástico através de interações intermoleculares. Os dois primeiros critérios são essenciais para uma melhor espumabilidade, enquanto que o terceiro é importante para o estabilidade da espuma.

Figura 7 – Estabilidade de espuma de concentrados proteicos de amaranto



Letras diferentes em cada tempo indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$)

As proteínas atuam como surfactantes por serem anfifílicas, migrando espontaneamente para uma interface óleo ou ar e água e reduzem a tensão interfacial. A solubilidade da proteína é um requisito importante tanto para formação, como para a estabilização de dispersões. Frequentemente há uma correlação positiva entre a solubilidade das proteínas e a formação e estabilização de dispersões, pois a proteína deve dissolver e migrar até a interface antes de manifestar suas prioridades surfactantes. Proteínas menos solúveis contribuem pouco para formação da emulsão ou espuma, mais podem contribuir com a estabilização da dispersão já formada (DAMODARAN, 2010). Assim a solubilidade das proteínas dos dois concentrados, apesar de diferentes, contribuem igualmente para formação da emulsão e espuma, mas a estabilidade destas dispersões foi maior no concentrado de amaranto com maior tempo pós-colheita (Tabela 5) provavelmente devido a menor solubilidade de suas proteínas (Figura 5).

Conforme o apresentado na Tabela 5, a concentração mínima para formação de gel foi semelhante (7%) para ambos os concentrados proteicos de amaranto, apesar da maior capacidade de absorção de água pelo concentrado de amaranto com menor tempo pós-colheita.

CONCLUSÕES

O tempo prolongado de armazenamento, em condições ambientais, resulta em grãos de amaranto mais escuros e avermelhados; com maior umidade, mas sem alteração no conteúdo dos demais componentes (exceto cinzas e fibra insolúvel) e com menor capacidade de absorção de água.

Ocorrem alterações bioquímicas durante o armazenamento do amaranto que conduzem ao aumento de acidez do tecido e na redução na solubilidade das proteínas, sem haver alteração no perfil eletroforético.

Como consequência da redução da solubilidade das proteínas (devido ao armazenamento prolongado em condições ambientais) tem-se um menor rendimento de concentrado proteico.

Algumas propriedades físico-químicas e funcionais dos concentrados proteicos são afetadas pelo armazenamento dos grãos. A solubilidade das proteínas, capacidade de absorção de água ou óleo são menores para concentrados de grãos mais velhos, mas sua emulsão e espuma são mais estáveis. Outras propriedades (capacidade de formação de gel, de espuma e de emulsão) não são afetadas.

REFERÊNCIAS

AMAYA-FARFAN, J.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C.R. Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação. **A proposta do amaranto (Amaranthus sp)**. Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas, v.12, n.1, p.47-56, 2005.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W.P.; SPEHAR, C.R. Extrusão do amaranto no desenvolvimento de produtos: caracterização físico-química. **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**, Rio de Janeiro, dez. 2004.

ASSIS-BIANCHI, M.G; BELÉIA, A.D.P; Umidade e congelamento de grãos de amaranto e sua capacidade de expansão térmica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.8, p. 917-924, ago. 2010.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analysis**. v.2. 1997.

AULER, F. **Produção e caracterização de farinhas e concentrados protéicos de amaranto (Amaranthus cruentus)**. 2002. 75 p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição), Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

AVANZA, V., PUPPO, C., AÑÓN, C. Structural characterization of amaranth protein gels. **Journal of Food Science: Engineering and Physical Properties**. v. 70, n. 3, p. E223-E229, maio. 2005.

AVANZA, M.V.; AÑÓN, M.C. Effect of thermal treatment on the proteins of amaranth isolates. **Journal of the Science of Food and agriculture**, v. 87, p. 616-623, mar. 2007.

BEJARANO-LUJÁN,D.L.; NETTO.F.M. Effect of alternative processes on the yield and physicochemical characterization of protein concentrates from *Amaranthus cruentus*. **Food Science and Technology** v.43, p. 736-743,Jun. 2010.

BERGANZA, B.E.; MORAN, A.W.; RODRÍGUEZ, G.M.; COTO, N.M.; MARIO SANTAMARÍA, M.; BRESSANI, R. Effect of variety and location on the total fat, fatty acids and squalene content of amaranth. **Plant Foods For Human Nutrition**, v.58, n.3, p.1-6, 2003.

BERGER, A.; MONNARD I; DIONISI, F; HAYES K.C; LAMBELET, P. Cholesterol-lowering properties of amaranth grain and oil in hamsters. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, v.73, n.1, p.39-49, maio 2003.

BEUCHAT,L.R. Functional and eletrophoretic characteristics of succinyloted peanut flour proteins. **Journal of Food Science**, v.25, p.258, mar. 1977.

BRESSANI, R. Grain quality of common beans. **Food Reviews International**, v. 9, p. 237, 1993.

BRESSANI, R.; GARCÍA-VELA, L.A. Protein fractions in amaranth grain and their chemical characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.38, p 1205-1209, maio 1990.

CALZETTA-RESIO, A.N.; AGUERRE, R.J; SUAREZ.C. Study of some factors affecting water absorption by amaranth grain during soaking. **Journal of Food Engineering**, v.60, n.4, p 391-396, dez. 2003.

CALZETTA-RESIO, A.N.; TOLABA,M.P; SUAREZ.C. Some physical and thermal characteristics of amaranth starch. **Food Science and Technology International**, v.6, p 371-378, out. 2000.

CARBONELL, S.A.M.; ITO, M.F.; AZEVEDO FILHO, J.A. de; SARTORI, J.A. Cultivares comerciais de feijoeiro para o Estado de São Paulo: Características e melhoramento. In: CASTRO, J.L.; ITO, M.F. (Coord.). **Dia de campo de feijão**. v.19, 2003. p. 5-27.

COELHO, SRM.; PRUDENCIO, SH.; NOBREGA, L.H.P.; LEITE, C.F.R. Alterações no tempo de cozimento e textura dos grãos de feijão comum durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**. v.22, n.2, p.539-544 mar/abr. 2009.

COFFMANN, C. N.; GARCIA, V. V. Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 12, n. 5, p. 473, 1977.

DAMODARAN, Srinivasan. Aminoácidos, peptídeos, e proteínas. In: DAMODARAN, Srinivasan.; PARKIN, Kirk L.; FENNEMA, Owen. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: artmed, 2010.

DRZEWIECKI, J.; DELGADO-LICON, E.; HARUENKIT, R.; PAWELZIK, E.; MARTIN-BELLOSO, O.; PARK, YS.; JUNG, ST.; TRAKHTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. Identification and differences of total proteins and their soluble fractions in some pseudocereals based on electrophoretic patterns. **J Agric Food Chem**, v.51, n.26, p.7798-7804, dez. 2003.

DONADEL, M.; E.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H.; Propriedades funcionais de concentrado protéico de feijão envelhecido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 380-386, set/dez. 1999.

ETTINGER S.; Macronutrientes: carboidratos, proteínas e lipídeos. In: Mahan K.L., ESCOTT-STUMP S., organizadores. Krause: **Alimentos, nutrição & dietoterapia**. 10ª ed. São Paulo: Roca, 2002.

FOOD and Agriculture Organization/World Health Organization. **Protein quality evaluation**, v.51, 66p, 1991.

FIDANTSI, A.; DOXASTAKIS, G. Emulsifying and foaming properties of amaranth seed protein isolates. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.21, p119–24, jul. 2001.

GORINSTEIN, S.; PAWELZIK, E.; DELGADO-LICON, E.; HARUENKIT, R.; WEISZ, M.; TRAKHTENBERG, S. Characterization of pseudocereal and cereal protein by

protein and amino acid analyses. **Journal of the Science of Food and Agricultural**, v.82, p 886-891, jun. 2002.

GUTKOSKI, L. C.; DURIGON, A.; MAZZUTTI, S; SILVA, A. C. T.; ELIAS, M. C. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciência Tecnologia Alimentar**, Campinas, 8-894, out.-dez. 2008.

KONISHI, Y.; HORIKAWA, K.; OKU, Y.; AZUMAYA, J.; NAKATANI, N. Extraction of two albumin fractions from amaranth grains: comparison of some physicochemical properties and the putative localization in the grains. **Agricultural Biological e Chemistry**, v.55, n.11, p. 1745-1750, 1991.

He HP, Corke H.; Oil and squalene in *Amaranthus* grain and leaf. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v.51, n.27, p 7913-7920, mar. 2003.

HOU, H.J.; CHANG, K.C. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation, Westport**, v.28, n.6, p.473-488, dez. 2004.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Interconversions of isoflavones in soybeans as affected by storage. **Journal of Food Science**, v.67, n.6, p.2083-2089, ago. 2004.

LAEMMLI, UK. Cleavage of structural proteins during assembly of the head of bacteriophage T4. **Nature**, v.227, p.680-685, ago.1970.

LIU, K.; Cellular, biological and physicochemical basis for the hard-to-cook defect in legume seeds. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.35, n.4, p. 263-298, jul.1995.

LUQUEZ, N.G.; FERNÁNDEZ, S.; MUCCIARELLI, S.L. Concentrado protéico de *Amaranthus cruentus*. Métodos de extracción. Propiedades funcionales. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 46, n. 2, p. 143-145, jun. 1996.

MARCILIO, R.; AMAYA-FARFAN, J.; CIACCO, C.F.; SPEHAR, C.R. Fracionamento do grão de *Amaranthus cruentus* brasileiro por moagem e suas características composicionais. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p. 511-516, set/dez.2003.

MARCONE, M. F.; KAKUDA, Y. A comparative study of the functional properties of amaranth and soybean globulin isolates. **Nahrung – Food**, v.43, n.6, p 368–373, nov.1999.

MARTÍNEZ, EN.; AÑÓN, M.C. Composition and structural characterization of amaranth protein isolates An electrophoretic and calorimetric study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.44, n. 2523–2530, set.1996.

MARTÍNEZ, E.N.; CASTELLANI, O. F.; AÑÓN, M.C. Common molecular features among amaranth storage proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, n.3832–3839, out. 1997.

MARTIROSYAN, DM.; MIROSHNICHENKO, LA.; KULAKOVA, SN.; POGOJEVA, AV.; ZOLOEDOV, VI. Amaranth Oil Application for Coronary Heart Disease and Hypertension. **Lipids in Health and Disease**. v.6 n.1, jan. 2007.

MATTHEWS, D. E. **Proteínas e aminoácidos**. In: SHILS, M. E.; OLSON, J. A.; SHIKE, M. **Tratado de nutrição moderna na saúde e na doença**. 9.ed. São Paulo: Manole, 2003.

MENDONÇA, S.; SALDIVA, OS.; CRUZ, R.J.; ARÊAS, J.A.G. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effects. **Food Chemistry** v.116 pg 738-742, out. 2009.

MIRANDA, M. Z.; EL, DASH, A. Farinha Integral de Trigo Germinado. Características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22 n.3, pg. 216-223, set/dez. 2002.

MORI, A. L. B. **Solubilidade das proteínas de feijão comum envelhecido**. 2001. 78 f. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2001.

MORR, C.V.; GERMAN, J.E.; KINSELLA, J.M.; REGENSTEIN, J.P.; VAN BUREN, J.P.; KILARA, A. A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. **Journal of Food Science**, v.50, p.1715-1718, nov. 1985

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Amaranth: Modern prospects for an ancient crop. **Washington**: National Academy Press, p.1-81, out.1985.

OLTOLAN, F.; HECKTHEUER, L.H.; MIRANDA, M.Z. Efeito do armazenamento à baixa temperatura (- 4°C) na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. **Ciências de Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1, p. 55-59, jan. 2010.

OKEZIE, B. O.; BELLO, A. B. Physicochemical and functional properties of Winged bean flour and isolate compared with soy isolate. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 2, p. 450-454, mar.1988.

ORDÓÑEZ, J. A.; **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos**. vol.1. Porto Alegre: Artmed, 2005. 290p.

RAMÍREZ, R.C. **Monografía de la Cadena de Amaranto**. 2007. Disponível em <<http://www.sdr.gob.mx/beta1/contenidos/CadenasAgropecuarias>>

REIS, C.; NETTO, F.M. Influência do método de extração no rendimento, perfil protéico e solubilidade de concentrados protéicos de amaranto. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 24, n. 2, p.289-302, jul/dez. 2006.

REHMAN, Z.U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals, **Food Chemistry** v.95, p. 53–57, mar.2006.

REYES-MORENO, C.; MILAN-CARRILLO, J.; AMIENTA-RODELO, E.; OKAMURA-ESPARZA, J. Influence of storage at high temperature and high relative humidity on seed quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Food Science and Technology International**, v. 6, n. 6, p. 473-482, jan. 2000.

REYES-MORENO, C.; PAREDES-LÓPEZ, O. Hard-to-cook phenomenon in common beans – A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 3, p. 227-286, 1993.

RIBEIRO, H.J.S.S.; PRUDENCIO-FERREIRA, S.H.; MIYAGUI, D.T.; RIBEIRO, E.L.A. Caracterização de concentrado proteico de feijão comum preto, cultivar lapar 44, novo e envelhecido. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v.29, n.3, p. 571-580, set. 2009.

RIGUEIRA, R.J.A.; LACERDA FILHO, A.F.; VOLK, M.B.S.; Avaliação da qualidade de feijão armazenado em ambiente refrigerado. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v.20, n.4, p. 649-655, out/dez 2009.

RIOS, A.O.; ABREU, C.M.P.; CORRÊA, A.D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L). **Ciências e Tecnologias de Alimentos**, v.23, p. 39-45, dez 2003.

RUPOLLO, G. et al. Sistemas de armazenamento hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1715-1722, nov/dez. 2004.

SALCEDO-CHÁVEZ, B.; OSUNA-CASTRO, J.A.; GUEVARA-LARA, F.; DOMÍNGUEZ- DOMÍNGUEZ, J.; PAREDES-LOPEZ, O. Optimization of the isolates precipitation method to obtain protein isolates from amaranth (*Amaranthus cruentus*) seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 6515-6520, out. 2002.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILELA, F.A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.1, p.104-114, jun. 2005.

SAUNDERS, R.M.; BECKER, R. Amaranth: a potencial food and feed recourse. **Advances in Cereal Science and Technology**, v.6, p. 357-396, 1984.

SEGURA, M.E.B.; BRESSANI, R. Distribución de la proteína em fracciones físicas de La molienda y tamizado del grano de amaranto. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v.52, p. 167-171, jun.2002.

SEGURA-NIETO, M.; BARBA DE LA ROSA, A. P.; PAREDES-LOPEZ, O. Biochemistry of amaranth proteins. In Amaranth. **Biology, Chemistry and Technology**. v.5, p. 75-106, dez.1994.

SPEHAR, C.R.; TEIXEIRA, D.L.; CABEZAS, W.A.R.L.; ERASMO, E.A.L. Amarantho BRS Alegria: alternativa para diversificar os sistemas de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 659-663, maio 2003.

TEIXEIRA, D.T.; SPEHAR, C.R.; SOUZA, L.A.C. Caracterização agrônômica para cultivo na entressafra no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n.1. p.45-51, jan. 2003.

TEOTONICO, R.A.; KNORR D. Amaranth: Composition, Properties and Applications of a Rediscovered food crop. **Food Technology**, v. 39, p. 49-60, 1985.

THOMAS, R.; MAN, J. M.; MAN, L. Soybean and Tofu properties as influenced by soybean storage conditions. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 66, n. 6, p. 777-782, jun.1989.

TOMOSKOZI, S.; GYENGE, L.; PELCÉDER, A.; VARGA, J.; ABONYI, T.; LÁSZTITY, R. Functional properties of protein preparations from amaranth seeds in model system. **European Food Research and Technology**, v.226, n.1343–1348, abr. 2008.

TOSI, E. A.; RÉ, E.; LUCERO, H.; MASCIARELLI, R. Dietary fiber obtained from amaranth (*Amaranthus cruentus*) grain by differential milling. **Food Chemistry**, v. 73, n. 4, p. 441-443, nov. 2001.

VENTUREIRA, J.; MARTINEZ E.N.; ANÓN M.C Stability of oil: Water emulsions of amaranth proteins. **Food Hidrocolloids**. v.24, n.6-7 p.1-9, out. 2010.

VIEIRA, E.H.N.; BASSILENO, P.Z.; MELO, L.C.; MOREIRA, G.A.; PEIXOTO,D.; GLODER, E.L. Avaliação da Qualidade Tecnológica do Feijão Armazenado em Silobolsa. **Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão**, v.116, p.1- 4, jun. 2006.

WHITEHEAD, C.S; SWARD, G.H. Extractational activity of polyphenol oxidase and peroxidase from senescing leaves of *Protea neriifolia*. **South African Journal of Bothany**, v.1, p.127-130, 1982.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whipping and emulsifying properties of soybean products. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v. 36, n. 5, p. 719-727, maio 1972.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. **Elsevier Science**, v.36, n.6, p. 625-634, nov. 2003.