



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

MARIA DAS GRAÇAS DE ASSIS BIANCHINI

**INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS E  
TECNOLÓGICAS DE FARINHAS INTEGRAIS DE GRÃOS DE  
*AMARANTHUS CRUENTUS* L.**

MARIA DAS GRAÇAS DE ASSIS BIANCHINI

**INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS E  
TECNOLÓGICAS DE FARINHAS INTEGRAIS DE GRÃOS DE  
*AMARANTHUS CRUENTUS* L.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Ciência de Alimentos, nível Doutorado, da  
Universidade Estadual de Londrina, como requisito  
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência de  
Alimentos

Orientadora: Adelaide Del Pino Beléia

Londrina  
2011

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

**Dados Internacionais de Catalogação -na-Publicação (CIP)**

B577i Bianchini, Maria das Graças de Assis .  
Influência dos tratamentos térmicos nas propriedades físicas, químicas, biológicas  
e tecnológicas de farinhas de integrais de grãos de *Amaranthus cruentus* L. /  
Maria das Graças de Assis Bianchini . – Londrina, 2011.  
125 f. : il.

Orientador: Adelaide Del Pino Beléia.

Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina,  
Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos,  
2011.

Inclui bibliografia.

1. Amarantacea – Teses. 2. Farinhas – Tratamento térmico – Teses. 3. Cereais  
como alimento – Teses. 4. Cereais – Nutrição – Avaliação – Teses. I. Beléia,  
Adelaide Del Pino. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências  
Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III. Título.

CDU 664.6/7

MARIA DAS GRAÇAS DE ASSIS BIANCHINI

**INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS E  
TECNOLÓGICAS DE FARINHAS INTEGRAIS DE GRÃOS DE  
*AMARANTHUS CRUENTUS L.***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Ciência de Alimentos, nível Doutorado, da  
Universidade Estadual de Londrina, como requisito  
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência de  
Alimentos

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof Dra Adelaide Del Pino Beleia  
UEL - Londrina - PR

---

Prof Dr Walter Augusto Ruiz  
UFRG - Rio Grande - RS

---

Prof Dra Neusa Fátima Seibel  
UTFPR – Londrina - PR

---

Prof Dra Maria Victória Eiras Grossmann  
UEL - Londrina - PR

---

Prof Dra Sandra Helena Prudêncio  
UEL - Londrina - PR

Londrina, 10 de agosto de 2011

*“De tudo ficaram três coisas:  
A certeza de que estava sempre começando,  
A certeza de que era preciso continuar e  
A certeza de que seria interrompido antes de terminar ...”*

*Fernando Sabino*

## *Dedicatória*

*Ao meu marido por todo amor, apoio e orientação ao longo destes anos.*

*Aos meus filhos pelo amor, carinho e paciência.*

*A minha mãe pela fé inabalável.*

*Aos meus sogros, Elza e Orlando, por me fazer sentir da família.*

## Agradecimentos

Agradeço a Deus;

À professora Adelaide pela orientação e indiscutível crédito e confiança; À UFMT pela oportunidade; À UEL pela acolhida;

À FAPEMAT e CAPES pelo apoio financeiro;

Aos professores Emílio e Bianchini por permitir o uso do Laboratório de Solos (FAMEV/UFMT);

Aos professores do DAN pelo incentivo e a permissão do uso irrestrito dos laboratórios para o desenvolvimento da tese (FANUT/UFMT);

Aos professores Evaldo, Ricardo e Nair pelo uso não só do espaço físico, mas também dos equipamentos (Química/UFMT);

Ao Celso, amigo e parceiro até hoje, pelo apoio e incentivo, ao técnico Jorge pela sua colaboração necessária durante o ensaio biológico (FANUT);

Aos técnicos Air por facilitar meu trabalho, ao Dionísio pelo esforço em conseguir reagentes (Química/UFMT);

À Elzinha, Berenice pelo apoio e colaboração (UEL);

À Sandra Rezende pela presteza e gentileza (UEL);

À Ana Paula, amiga sempre, pelo apoio incondicional em todas as horas e pelo convívio fácil e alegre;

À Michele por fazer minha adaptação à rotina do laboratório mais fácil e pela companhia;

À Luciane Lobato pela troca de experiência;

À Cristiane Canan na sua companhia conheci mais Londrina;

À Gisele e Fernando pelas horas de lazer inesquecíveis;

Aos colegas ingressos no mestrado nos anos 2007 e 2008 e aos que por lá passaram, nesse período, obrigada por tornar meus dias mais alegres e animados.

BIANCHINI, Maria das Graças de Assis. **Influência dos tratamentos térmicos nas propriedades físicas, químicas, biológicas e tecnológicas de farinhas integrais de grãos de *Amaranthus cruentus* L.** 2011. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2011.

## RESUMO

O consumo de alimentos produzidos, exclusivamente, a partir de farinhas refinadas está levando a população a uma alimentação inadequada. Por outro lado, do ponto de vista da segurança alimentar, o fornecimento de alimentos não deveria estar sustentado por um pequeno número de cereais. O amaranto é um pseudocereal reconhecido internacionalmente pelo seu alto valor nutricional, em comparação com os cereais comumente utilizados, mas é pouco conhecido pelos brasileiros. O amaranto pode ser introduzido na dieta alimentar pelo uso dos grãos inteiros ou pelo uso de farinhas. Na indústria alimentícia é mais utilizado na forma de farinhas. O tratamento térmico inadequado pode alterar tanto as propriedades tecnológicas, como o valor nutricional das farinhas, com perdas de proteínas, ácidos graxos, vitaminas. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações causadas por diferentes tratamentos térmicos aplicados aos grãos de amaranto com vista à produção de farinhas integrais. O congelamento dos grãos a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a hidratação a  $13,5\text{ g}/100\text{g}$  favoreceu o pipocamento do grão, produzindo pipocas de melhor qualidade. O método adotado para tostar os grãos é simples e permite produzir farinha com teores de proteína, lipídio e perfil aminoacídico igual à dos grãos cozidos e superior à produzida de grãos *in natura* e pipocados. As farinhas de amaranto cozidos ou tostados contêm proteínas de alto valor biológico, sendo que a de grãos cozidos se mostrou no ensaio biológico semelhante à da caseína. A farinha de pipocas de amaranto, apesar das perdas de nutrientes ocorridas durante o processamento, pode ser considerada, ainda, uma boa fonte de nutrientes, mas com elevada quantidade de amido rapidamente digerível sendo indicada para pessoas saudáveis e que pratiquem frequentemente atividade física. A tostagem dos grãos além de ser uma técnica simples e rápida, foi o tratamento térmico que produziu farinhas com elevada qualidade proteica e maiores quantidades de amido lentamente digestível e de amido resistente que do ponto de vista nutricional produzem os melhores benefícios fisiológicos ao corpo humano.

**Palavras-chave:** Pseudocereal. Valor nutricional. Aminoácido. Digestibilidade protéica. Digestibilidade do amido.

BIANCHINI, Maria das Graças de Assis. **Influence of heat treatment on physical, chemical, biological and technological properties of whole grain flour of *Amaranthus cruentus* L.** 2011. 125 f. Doctorate Thesis (Food Science and Technology). - Universidad Estadual de Londrina, Londrina. 2011.

## ABSTRACT

The consumption of food produced exclusively from refined flour is leading the population to an inadequate nutrition. On the other hand, from the standpoint of food security, food supply should not be supported by a small variety of grains. Amaranth is a pseudocereal recognized internationally for its high nutritional value compared with the commonly used cereal, but is little known by the Brazilians. Amaranth can be introduced into the diet by the use of whole grains or the use of flour. In the food industry is more used in the form of flour. Inadequate heat treatment can change the technological properties and nutritional value of flour, with losses of protein, fatty acids, and vitamins. The objective of this study was to evaluate the changes caused by different heat treatments applied to the grain amaranth with a view to produce whole grain flour. The freezing at -18 °C grains and hydration to 13.5 g/100g produce better popping than the environmental one, producing larger and lighter popping. The method used to roast the grains is simple and allows produced flour with protein, lipid and amino acid profile similar to cooked grains and greater than that produced by raw grain and popped. The amaranth flour cooked or roasted contains proteins of high biological value, which the cooked amaranth presents, in biological assay, similar values to casein. The flour popped amaranth grain, despite the losses of nutrients occurred during processing, can be considered also a good source of nutrients, with high amount of rapidly digestible starch, indicated for healthy people practicing physical activity often. The toasting grains is a simple and rapid heat treatment which produced flour with high quality protein and greater amount of slowly digestible starch and resistant starch, which in the nutritional stand point is the best to produce physiological benefits to the human body.

**Keywords:** Pseudocereal. Nutritional value. Amino acid. Protein digestibility. Starch digestibility.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b>	Fotos da lavoura e da panícula do <i>A. cruentus</i> BRS Alegria.....	19
<b>Figura 2.2</b>	Semente de amaranto em corte: transversal e longitudinal .....	20
<b>Figura 2.2</b>	Fórmula estrutural dos aminoácidos essenciais e não essenciais .....	24
<b>Figura 3.1</b>	Fluxograma do processo de limpeza, hidratação e armazenamento dos grãos.....	43
<b>Figura 3.2</b>	Interação temperatura de armazenamento <i>versus</i> umidade para DMP e densidade no pipocamento dos grãos de <i>A. Cruentus</i> .....	52
<b>Figura 3.3</b>	Interação da temperatura de armazenamento <i>versus</i> umidade dos grãos para tempo de residência no pipocamento dos grãos de <i>A.cruentus</i> .....	53
<b>Figura 4.1</b>	Equipamento utilizado para tostar os grãos de amaranto .....	62
<b>Figura 4.2</b>	Variação percentual dos aminoácidos encontrados nas farinhas de grãos de <i>A. cruentus</i> tratados termicamente, em relação à farinha de grãos <i>in natura</i> .....	72
<b>Figura 5.1</b>	Evolução da massa corpórea dos ratos alimentados com ração apteica à base de caseína de grãos de amaranto <i>in natura</i> , tostados, cozidos e pipocados durante os experimentos.....	91
<b>Figura 6.1</b>	Fluxograma para a determinação da glicose livre (FG) e do amido total (AT), segundo Englyst, Kingman e Cummings (1992).....	106
<b>Figura 6.2</b>	Fluxograma para determinar a glicose e o amido rapidamente disponíveis (GRD/ARD), lentamente disponíveis (GLD/ALD) e do amido resistente à hidrólise enzimática (AR), segundo Englyst, Kingman e Cummings (1992).....	108
<b>Figura 6.3</b>	Curva da hidrólise do amido das pipocas e das farinhas de grãos de amaranto <i>in natura</i> (FIAI), pipocados (FIAP), cozidos (FIAC) e tostados (FIAT).....	110
<b>Figura 6.4</b>	Gráfico da curva da inversa da percentagem de amido hidrolisado (1/PAH) em função do inverso do tempo de hidrólise (1/t) .....	112

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b>	Composição química do grão de <i>A. cruentus</i> (L.), milho, arroz.....	21
<b>Tabela 2.2</b>	Classificação e características das frações de amido .....	30
<b>Tabela 2.3</b>	Classificação de tipos de amido resistente (AR), fontes de alimentos e fatores que afetam sua resistência à digestão no colon.....	31
<b>Tabela 3.1</b>	Condições de produção da pipoca de amaranto no experimento com duas formas de armazenamento e três níveis de umidade dos grãos .....	44
<b>Tabela 3.2</b>	Principais características das pipocas de grãos de <i>Amaranthus cruentus</i> com diferentes teores de umidade antes e após congelamento.....	48
<b>Tabela 3.3</b>	Características das pipocas em função da umidade e da temperatura de armazenamento dos grãos de <i>A cruentus</i> .....	51
<b>Tabela 3.4</b>	Correlação entre as características utilizadas na avaliação das pipocas de <i>A. Cruentus</i> .....	54
<b>Tabela 3.5</b>	Composição química (g/100g) dos grãos <i>A. cruentus</i> congelados a 13,5 g/100g crus e pipocados .....	55
<b>Tabela 4.1</b>	Composição proximal (g/100g) das farinhas de grãos <i>A. Cruentus</i> .....	66
<b>Tabela 4.2</b>	Fibras insolúveis e solúveis e inibidores de tripsina das farinhas de grãos <i>A. Cruentus</i> .....	68
<b>Tabela 4.3</b>	Composição mineral das farinhas de grãos <i>Amaranthus. Cruentus</i> .....	69
<b>Tabela 4.4</b>	Perfil de aminoácidos das farinhas de grãos de <i>A cruentus</i> e as recomendações de aminoácidos essenciais da WHO/FAO para diferentes faixas etárias .....	70
<b>Tabela 4.5</b>	Aminoácidos essenciais (mg/g de proteína) presentes nas farinhas de <i>A. cruentus</i> , ovo, leite fluído e mistura 1:1 de arroz e feijão.....	73
<b>Tabela 4.6</b>	Escores químicos das farinhas integrais de grãos de <i>A. Cruentus</i> .....	74

<b>Tabela 5.1</b>	Formulação das rações utilizadas no experimento com ratos (g/100g de misturas) .....	84
<b>Tabela 5.2</b>	Ganho de peso, consumos de ração e de proteínas e fator de conversão alimentar (FCA) dos animais aos 14 e 28 dias de ensaio.....	89
<b>Tabela 5.3</b>	Parâmetros da qualidade biológica das farinhas de grãos de amaranto .....	92
<b>Tabela 5.4</b>	Escore de aminoácidos corrigidos pela digestibilidade verdadeira da proteína (PDCAAS) das farinhas de grãos de amaranto, em função da faixa etária .....	95
<b>Tabela 5.5</b>	Índice de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) das farinhas de grãos de amaranto .....	97
<b>Tabela 6.1</b>	Efeito dos tratamentos térmicos na percentagem máxima de amido hidrolisado (MAH) e no fator de hidrólise do amido de pipocas e de farinhas de grãos de amaranto .....	113
<b>Tabela 6.2</b>	Índice de hidrólise <i>in vitro</i> a 20 minutos (IH <sub>20</sub> ), glicose rapidamente disponível (GRD) e lentamente disponível (GLD) do amido de pipocas e de farinhas de grãos de amaranto .....	115
<b>Tabela 6.3</b>	Efeitos dos tratamentos térmicos sobre as frações do amido das pipocas e farinhas de grãos de amaranto .....	117

## SUMARIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
2.1 O AMARANTO .....	18
2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GRÃO .....	20
2.3 PROTEÍNA .....	23
2.3.1 Proteínas do Grão de Amaranto .....	26
2.4 O AMIDO .....	27
2.5 2.4.1 Amido do Amaranto .....	31
2.6 CONSUMO DO AMARANTO .....	23
2.7 <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	34
<b>CAPÍTULO 3 - UMIDADE E CONGELAMENTO DE GRÃOS DE AMARANTO E SUA CAPACIDADE DE EXPANSÃO TÉRMICA</b> .....	40
3.1 INTRODUÇÃO .....	40
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.2.1 Matéria prima.....	42
3.2.2 Preparo dos grãos .....	43
3.2.3 Hidratação e armazenamento dos grãos .....	43
3.2.4 Delineamento experimental .....	44
3.2.5 Produção das pipocar de grãos de amaranto .....	45
3.2.6 Caracterização das pipocas .....	45
3.2.7 Composição química dos grãos <i>in natura</i> e pipocados.....	46
3.2 <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
3.2.1 Características físicas das pipocas .....	47
3.2.2 Composição química do grão <i>in natura</i> e das pipocas .....	54
3.3 <b>CONCLUSÃO</b> .....	55
3.4 <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	56
<b>CAPITULO 4 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FARINHAS INTEGRAIS DE GRÃOS DE <i>Amaranthus cruentus</i> L. TRATADOS TERMICAMENTE</b> .....	58
4.1 <b>INTRODUÇÃO</b> .....	58

<b>4.2 MATERIAL E METODOS</b> .....	60
4.2.1 Matéria-prima .....	60
4.2.2 Farinha integral de grãos de amaranto <i>in natura</i> (FAI) .....	60
4.2.3 Farinha integral de grãos de amaranto cozidos (FIAC) .....	61
4.2.4 Farinha integral de grãos de amaranto pipocados (FIAP) .....	61
4.2.5 Farinha integral de grãos de amaranto tostados (FIAT) .....	61
4.2.6 Composição proximal das farinhas integrais de amaranto .....	62
4.2.7 Minerais .....	62
4.2.8 Inibidores de tripsina .....	63
4.2.9 Aminograma das farinhas de amaranto .....	64
4.2.10 Determinação de escore químico (EQ) .....	65
4.2.11 Análise estatística.....	65
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	65
4.3.1 Composição proximal das farinhas .....	65
4.3.2 Minerais .....	68
4.3.3 Perfil aminoacídico das farinhas de amaranto .....	70
<b>4.4 CONCLUSÃO</b> .....	76
<b>4.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	76

<b>CAPITULO 5 - AVALIAÇÃO BIOLÓGICA DA PROTEÍNA E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS INTEGRAIS DE <i>Amaranthus cruentus</i> L TRATADOS TERMICAMENTE</b> .....	80
<b>5.1 INTRODUÇÃO</b> .....	80
<b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	82
5.2.1 Ensaio biológico .....	82
5.2.1.1 Grupos experimentais .....	82
5.2.1.2 Ração .....	83
5.2.1.3 Manipulação dos animais, determinação do peso corporal e consumo de ração. ....	85
5.2.1.4 Cálculo do coeficiente da eficácia proteica (CEP) .....	85
5.2.1.5 Cálculo da razão proteica líquida (RPL).....	85
5.2.1.6 Cálculo da utilização proteica líquida (UPL).....	86
5.2.1.7 Cálculo da digestibilidade verdadeira (Dv).....	86

5.2.2	Determinação do escore químico corrigido pela digestibilidade da proteína ou <i>protein digestibility-corrected amino acid score</i> (PDCAAS) das farinhas de amaranto .....	87
5.2.3	Índices de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) .....	88
5.2.4	Análise estatística.....	88
<b>5.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>89</b>
5.3.1	Avaliação biológica das farinhas integrais de amaranto .....	89
5.3.2	Índices de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) .....	96
<b>5.4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>98</b>
<b>5.5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>98</b>
<b>CAPÍTULO 6 - DIGESTIBILIDADE <i>in vitro</i> DO AMIDO DAS FARINHAS DE <i>Amaranthus cruentus</i> L TRATADOS TERMICAMENTE</b> .....		
		101
<b>6.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>101</b>
<b>6.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>104</b>
6.2.1	Digestibilidade <i>in vitro</i> do amido.....	104
6.2.2	Índice de hidrólise do amido.....	109
6.2.3	Análise estatística.....	109
<b>6.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>109</b>
6.3.1	Hidrólise do amido das farinhas de grãos de amaranto.....	109
6.3.2	Digestibilidade do amido das farinhas de grãos de amaranto .....	114
<b>6.4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>120</b>
<b>6.5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>120</b>
<b>ANEXO</b> .....		<b>123</b>
ANEXO A - Figuras diversas do trabalho de tese .....		124

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

A globalização da agricultura e, conseqüentemente a industrialização traz efeitos colaterais negativos que se sentem em todo o mundo. Estes efeitos incluem a alta exigência de fertilizantes e energia, exploração de poucas espécies de plantas, a monocultura e a redução da diversidade genética na agricultura. Como consequência, a segurança alimentar global torna-se cada vez mais dependente de apenas algumas culturas. Mesmo que a humanidade tenha, ao longo do tempo, utilizado mais de 10.000 espécies de plantas comestíveis, nos últimos anos apenas 150 são comercializadas em escala global significativa, 12 fornecem cerca de 80% de energia da dieta e 60% da necessidade global de proteínas e calorias são atendidas por apenas quatro espécies: arroz, trigo, milho e batata (FAO, 2005).

O estreitamento do número de culturas das quais a segurança alimentar global e o crescimento econômico dependem, colocou o abastecimento futuro de alimentos e a renda rural em risco. Os fatos mencionados com profundas consequências ambientais e preocupação com a perda de variedades de culturas estimulam organizações e cientistas em todo o mundo na recuperação, pesquisa e difusão de conhecimento na produção e utilização de negligenciadas, subaproveitadas e novas espécies de plantas, denominadas de culturas alternativas. Elas têm um potencial sub-explorado para contribuir à segurança alimentar, nutrição, saúde, geração de renda e serviços ambientais (MLAKAR et al., 2010). Estes autores apresentam informações obtidas de um projeto nacional em grão de amaranto: sua produção, qualidade nutricional e possível utilização no ambiente de produção da Eslovênia.

Os riscos nutricionais de diferentes categorias e magnitudes permeiam todo o ciclo da vida humana, desde a concepção até a senilidade, assumindo diversas configurações epidemiológicas em função do processo saúde/doença de cada população. No Brasil ainda são graves e flagrantes os problemas decorrentes da inadequação de consumo de alimentos; de um lado tem-se a manutenção de quadro de morbimortalidade infantil caracterizado por doenças infectocontagiosas e desnutrição, típico de populações carentes, e de outro, acompanha-se o aumento da prevalência de doenças crônicas, um fenômeno característico de populações em processo de desenvolvimento (COLUCCI, 2010). As

doenças crônicas não transmissíveis, como a hipertensão, doenças cardiovasculares, diabetes e câncer atingem 31,5 % da população adulta brasileira, sendo que 48,8 % apresentam excesso de peso (BRASIL-IBGE, 2011).

Dentre o interesse por novos grãos alimentares, destaca-se o amaranto, que apresenta características atrativas por possuir elevado conteúdo de proteínas, entre 13,2 e 17,6%, com melhor balanço aminoacídico e teor de lipídio (6,3 a 8,1%) superior à maioria dos grãos de cereais. Apesar de o consumo de amaranto estar restrito a alguns países e, ainda, dentro de certas regiões, o potencial deste pseudocereal como fonte de nutrientes é bastante alto. O interesse no seu aprimoramento é reconhecido por organismos internacionais, sendo para tanto necessária a criação de produtos de aceitabilidade geral, que viabilizem sua incorporação à alimentação humana (AMAYA-FARFAN; MARCÍLIO; SPEHAR, 2005).

A criação de demanda do grão desta amarantácea e a difusão de seu cultivo no Brasil, de forma que ele possa integrar a matriz de produção e de alimentação da população brasileira, dependem inicialmente de grandes esforços em pesquisas para o desenvolvimento de alternativas de emprego deste grão na indústria de alimentos. Apesar de praticamente inexplorado no Brasil, esse vegetal pode tornar-se uma excelente fonte alternativa para o pequeno agricultor, que subsiste da agricultura familiar e de suprimento alimentar para a população, visto que as exigências climáticas e/ou ambientais do seu ciclo vegetativo são adequadas àquelas predominantes na região do nordeste (COSTA; BORGES, 2005) e do cerrado (SPEHAR et al., 2003).

O pequeno, mas gradual, crescimento do comércio para o amaranto em grão está baseado nas suas características nutricionais e tem hoje como principal consumidor o indivíduo que busca alternativa concreta para uma alimentação mais saudável. A demanda recente por este pseudocereal tem crescido no Brasil, e a produção interna incipiente levou o Ministério da Agricultura a aprovar os requisitos fitossanitários para importação de grãos de *Amaranthus caudatus* L produzidos no Peru (BRASIL-MAPA, 2011). O potencial do amaranto no Brasil, especialmente no cerrado, é grande por causa da sua adaptabilidade às regiões de clima mais severo, na apresentação de uma razoável produção mesmo em solos pobres, no fácil cultivo, na variedade de aplicações em produtos alimentícios e na configuração como uma fonte de alimento saudável para todos.

O amaranto pode ser introduzido na dieta alimentar do brasileiro pelo uso dos grãos inteiros ou pelo uso de farinhas. A farinha de grãos de amaranto pode ser utilizada na indústria alimentícia, mas, conforme relatos encontrados na literatura, há necessidade de que os grãos recebam um tratamento térmico para melhorar seu valor nutricional. No entanto, pesquisadores alertam que o tratamento térmico inadequado pode alterar o valor nutricional com perdas de proteínas, ácidos graxos e vitaminas e as propriedades tecnológicas das farinhas produzidas em comparação com a de grão *in natura* (CAPRILES et al., 2008; ESCUDERO et al., 2004 e GAMEL et al., 2004).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações causadas por diferentes tratamentos térmicos aplicados aos grãos de amaranto com vista a produção de farinhas integrais.

Este trabalho será apresentado em capítulos que abordarão os seguintes assuntos:

#### Capítulo 2 - Revisão bibliográfica

Este capítulo contém uma revisão que aborda os principais assuntos estudados nesta tese.

Capítulo 3 - Umidade e congelamento de grãos de amaranto e sua capacidade de expansão térmica.

Este capítulo contém um estudo a respeito do comportamento dos grãos de amaranto quando submetidos ao processo de pipocamento.

Capítulo 4 - Composição química de farinhas integrais de grãos de *Amaranthus cruentus* L tratados termicamente.

Este capítulo apresenta o estudo da composição centesimal, de minerais e perfil aminoácídico das farinhas integrais dos grãos de amaranto tratados termicamente.

Capítulo 5 - Avaliação biológica e propriedades tecnológicas das farinhas integrais de grãos de *Amaranthus cruentus* L tratados termicamente.

Este capítulo aborda a avaliação da qualidade biológica das proteínas presentes nas farinhas integrais de grãos de amaranto tratado termicamente e o efeito destes tratamentos nos índices de absorção de água e óleo.

Capítulo 6 - Digestibilidade *in vitro* do amido das farinhas integrais de grãos de *Amaranthus cruentus* L tratados termicamente.

Este capítulo trata do estudo da digestibilidade *in vitro* do amido presente nas farinhas integrais de grãos de amaranto tratado termicamente.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 O AMARANTO

Desde tempos remotos, espécies de amaranto têm sido consumidas como vegetal fresco, folhas ou como grãos. Os maias, astecas e incas consideravam o amaranto um grão sagrado. Existem relatos do uso do amaranto na América Central, onde era utilizado nos rituais religiosos quando se misturava o grão com sangue humano, sendo por isso seu cultivo proibido pelos colonizadores espanhóis (SAUNDERS; BECKER, 1984; STALLKNECHT; SCHULZ-SCHAEFFER, 1993).

Algumas espécies de *Amaranthus*, como *A. hybridus*, *A. deflexus*, *A. retroflexus*, *A. spinosus*, *A. viridis*, consideradas ervas daninhas, têm recebidos nomes populares como Caruru, Caruru-bravo, Bredo, Caruru-rasteiro, Caruru-roxo, Caruru gigante, Caruru-de-espinho (TEUTONICO; KNORR, 1985). O amaranto recebe várias denominações diferentes em diversos países: Amaranto (espanhol); Amaranth (Inglês), Kiwicha (Cusco, Peru); Achita (Ayacucho, Peru), Coyo (Cajamarca, Peru); Achis (Huaraz, Peru); Coimi e Inca Millmi pachaqui ou grande Inca (Bolívia); Sangorache, Ataco, Quinoa de Castilla (Equador); Alegria e Huanthi (México); Rejgira, Ramdane, Eeerai (Índia) (SANCHEZ; DÍAZ, 1997).

O amaranto (*Amaranthus* sp) é classificado como pseudocereal devido às suas características botânicas e nutricionais. Ele pertence à família *Amaranthaceae*, classe das dicotiledôneas, apresentando inflorescência tipo panícula. A planta ereta pode alcançar 2 metros de altura, as sementes são pequenas lenticulares, com 1 a 1,5 mm de diâmetro e 0,6 a 1,0 mg de peso, a cor pode variar do amarelo claro, passando pelo dourado, chegando a vermelho e preto. O alto teor de proteína (13,2 a 17,6%) e a presença de aminoácidos sulfurados e da lisina confirmam a classificação de pseudocereal (SAUNDERS; BECKER, 1984).

A planta de amaranto tem grande capacidade de adaptação climática, podendo ser cultivada ao nível do mar até altitudes superiores a 3.500 m (COONS, 1981). Existem mais de 60 espécies de amaranto em todo o mundo, todas de fotoperíodo curto e tipo fotossintético C4 (JACOBSEN; ITENO; MUJICA, 2001). É uma planta resistente às condições climáticas mais drásticas e possui uma alta capacidade de uso eficiente da água, o que facilita o cultivo (BRESSANI; ELIAS; GARCIA-SOTO,

1989). As espécies mais estudadas e cultivadas são *Amaranthus cruentus* (L.) (México, Guatemala, África, Caribe, Ásia e América do Sul), *Amaranthus caudatus* (América do Sul), *Amaranthus hypochondriacus* (Índia, México e Estados Unidos) e *Amaranthus tricolor* (China e Índia) (BREENE, 1991).

**Figura 2.1** - Fotos da lavoura e da panícula do *A. cruentus* BRS Alegria.



As folhas e sementes desta planta são consumidas como alimento em diversas regiões do mundo. Na China, o amaranto é utilizado como forrageira; na África, Ásia e nas Américas, ele também é utilizado como hortaliça (KAUFFMAN, 1992; BRENNER, 2000). Nos Estados Unidos, o grão é usado no processamento de pães, biscoitos e alimentos especiais (WILLIAMS; BRENNER, 1995). O amaranto também pode ser utilizado como ornamento devido à beleza de sua panícula, folhas e caule (JACOBSEN; ITENO; MUJICA, 2001).

Embora o Brasil tenha solo e clima adequados para o cultivo do amaranto, ele não tem sido produzido ou consumido no país. Independentemente da espécie e da origem, há potencial produtivo, e tanto *A. cruentus* quanto *A. caudatus* e *A. hypochondriacus* apresentam características agrônômicas desejáveis para o cultivo no cerrado, após o cultivo de verão, chamado comumente de safrinha (TEIXEIRA; SPEHAR; SOUZA, 2003).

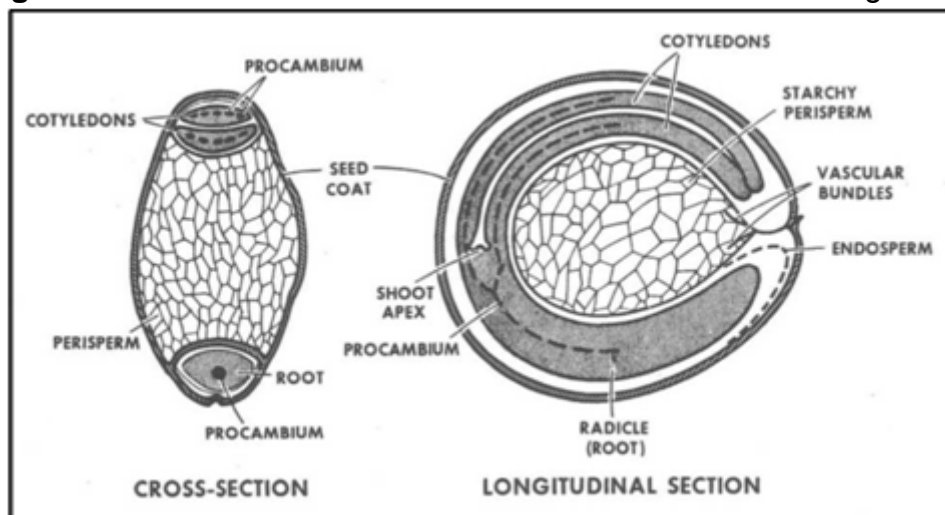
O cerrado brasileiro já dispõe, conforme estudos realizados por Spehar et al. (2003), de uma cultivar de amaranto, adaptada a esta região, denominada de BRS-Alegria, desenvolvida pela Embrapa, originária da linhagem de *Amaranthus cruentus* AM 5189, procedente dos Estados Unidos e que pode ser cultivada em qualquer época do ano. Esta variedade necessita apenas de 6 a 10 kg de sementes por hectare, tem crescimento vigoroso, com inflorescências (panículas ou

cachos) coloridas, com variações do amarelo ao roxo. Após os 30 dias da emergência, apresenta rápido crescimento, podendo atingir 2,0 m, com inflorescência de até 0,6 m, dependendo dos tratos culturais e do suprimento de água. A variedade BRS -Alegria apresentou, segundo esses autores, uma produtividade de 2.359 kg. ha<sup>-1</sup> de grãos e 5.650 kg.ha<sup>-1</sup> de biomassa, e ciclo total de 90 dias. Em outra pesquisa, Brambilla, Constantino e D'Oliveira (2008) encontraram produtividade de grão, para esta variedade, de até 4.000 kg.ha<sup>-1</sup>, quando se usou uma dose de 100 kg N.ha<sup>-1</sup> em cobertura.

## 2.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GRÃO

No grão de amaranto, distinguem-se quatro partes importantes, como se observa na Figura 2.2: Pericarpo (seed coat), a parte mais externa, constituída de células muito finas; endosperma, a segunda camada; o embrião, formado por dois cotilédones, a parte mais rica em proteínas e lipídios; e o perisperma, a parte mais interna, rica em amidos.

**Figura 2.2** - Semente de amaranto em corte: transversal e longitudinal



Fonte: Irving, Betschart e Saunders (1981).

O seu embrião é peculiar, pois consiste de um anel embrionário que circunda a semente diploide amilácea, o perisperma, fora da superfície do endosperma, em contraste aos grãos de cereais, onde o embrião é embebido no endosperma (IRVING; BETSCHAT; SAUNDERS, 1981).

Devido às suas características peculiares, estrutura e morfologia do grão de amaranto é possível separar suas partes anatômicas e obter frações com diferentes composições. O processo de moagem a seco desenvolvido por Tosi et al. (2000) permite separar diferentes partes do grão produzindo e obter duas frações distintas uma com alto teor proteico (+ 40%) e outra com alto teor de amido (cerca de 72%).

Os teores de proteína, lipídios, cinzas e minerais, destacando o cálcio e sódio, no grão de amaranto são mais elevados que nos grãos de milho e de arroz polido (Tabela 2.1). A composição do amaranto pode variar com a espécie, sazonalidade, condições do meio ambiente e tratamentos agrônômicos aplicados no cultivo da semente.

**Tabela 2.1** - Composição química do grão de *A. cruentus* (L.), milho, arroz.

Constituintes	Amaranto <sup>1</sup>	Milho <sup>2</sup>	Arroz polido <sup>3</sup>
Umidade (%)	6,23-6,71	9,23	14,0
Proteína (%)	13,2-17,6 <sup>ab</sup>	8,05 <sup>c</sup>	8,94 <sup>ad</sup>
Lipídeo (%)	6,3-8,1 <sup>a</sup>	5,69	0,36 <sup>a</sup>
Fibra total (%)	3,4-5,3 <sup>a</sup>	13,3	2,87 <sup>a</sup>
Cinza (%)	2,8-3,6 <sup>a</sup>	1,15	0,3 <sup>a</sup>
Sódio (mg/100g)	31 <sup>a</sup>	nd	0,5-8,6
Potássio (mg/100g)	290 <sup>a</sup>	nd	70-130
Cálcio (mg/100g)	175 <sup>a</sup>	6,76	10-30
Magnésio (mg/100g)	244 <sup>a</sup>	nd	20-50
Ferro (mg/100g)	17,4 <sup>a</sup>	3,37	0,2-2,8
Zinco (mg/100g)	3,7 <sup>a</sup>	2,08	0,6-2,3

Fontes: <sup>1</sup>Adaptado de Becker et al. (1981) e de Teutónico e Knorr (1985); <sup>2</sup>Castro et al. (2009); <sup>3</sup>Walter, Marchezan e Ávila (2008). nd - não determinado. <sup>a</sup> Matéria seca; <sup>b</sup> N x 5,85; <sup>c</sup> N x 6,25; <sup>d</sup> N x 5,95

A composição do grão do *Amaranthus cruentus* (L.) registra um conteúdo de proteína entre 13,5% e 17,6% (b.s.), sendo que a maior parte, 65%, se encontra no embrião e os 35% restantes se encontram em volta dos grânulos de amido no perisperma. Essa característica o diferencia de outros grãos como o milho, o arroz e a soja, que apresentam 80% da proteína no seu endosperma (BRESSANI, 1989; SAUNDERS; BECKER, 1984).

A proteína do amaranto, de acordo com Gamel et al. (2004 e 2005), Escudero et al. (2004) e Carlsson (1997) exibe um balanço equilibrado de aminoácidos essenciais e apresenta um alto conteúdo dos aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína) e lisina, quando comparado com o dos cereais e com os

requerimentos de aminoácidos essenciais ao desenvolvimento e manutenção do corpo humano estabelecidos pela WHO/FAO.

O amido é o carboidrato mais abundante no amaranto e varia entre 48 e 66%, e a fração amilose está em menor quantidade, variando de 4,8% a 6,4%. Açúcares também estão presentes, destacando-se a sacarose, aproximadamente 1,83%, seguida da rafinose, na faixa de 0,73% a 0,82%, da estaquiose, 0,10% - 0,13%, e da maltose de 0,02% a 0,18% (GAMEL et al., 2005; SAUNDERS; BECKER, 1984).

O grão de amaranto contém aproximadamente 6 a 8% de óleo, geralmente mais alto que o encontrado em outros cereais. A fração de lipídio do grão de amaranto é semelhante à fração dos outros cereais, em que mais de 70% dos ácidos graxos são insaturados, sendo que o ácido linoleico é o ácido graxo predominante. Na fração insaponificável, encontram-se vitaminas, pigmentos, esqualeno e esteróis. A quantidade de esqualeno, componente intermediário na síntese de esteroides, é alta, variando de 2,26 a 6,23% da fração de óleo total (ESCUADERO et al., 2004; BERGANZA et al., 2003).

Além das características inigualáveis dos componentes principais de proteínas, carboidratos e lipídios, o grão de amaranto contém fibra alimentar variando de 4 a 8%, superior à maioria dos grãos de cereais (2%), elevados níveis de minerais, especialmente cálcio (175 mg/100g) e sódio (31 mg/100g), quando comparado a outros grãos de cereais (TOSI et al., 2001; ALVAREZ-JUBETE; ARENDT; GALLAGHER, 2009).

Estudos conduzidos com grãos de amaranto revelam ausência ou presença de níveis baixos de fatores antinutricionais. Arellano et al. (1990) encontraram em farinhas de *Amaranthus cruentus* (L.) níveis baixos de nitratos e taninos e de atividade antitriptica e não detectaram ácido oxálico e atividade ureática. Oleszerk; Junkuszew; Stochmal, (1999) encontraram em sementes de amaranto níveis baixos de saponina. Gamel et al. (2006) revelaram que os tratamentos térmicos e germinação afetaram os fatores nutricionais dos amarantos estudados (*A. cruentus* e *caudatus*), reduzindo o fitatos, fenólicos e inibidor de tripsina.

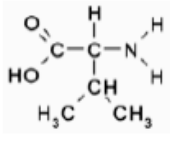
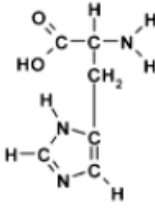
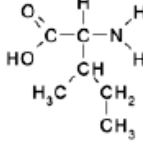
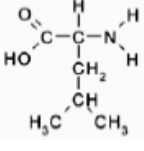
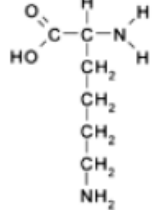
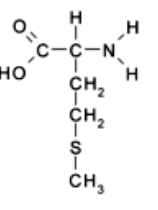
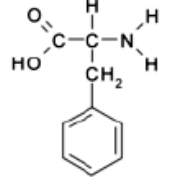
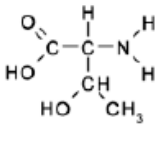
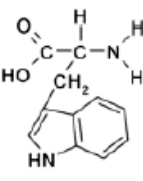
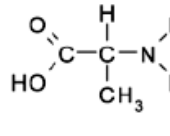
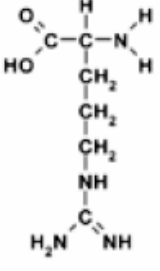
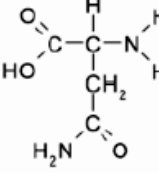
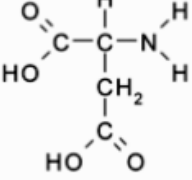
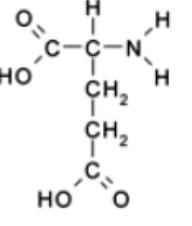
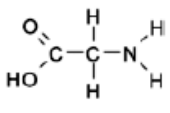
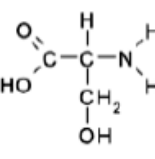
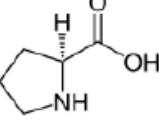
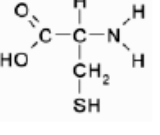
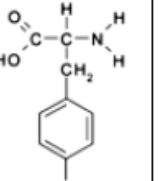
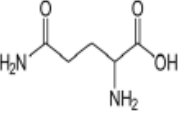
## 2.3 PROTEÍNA

Proteínas são as biomoléculas mais abundantes nos animais, desempenhando funções fundamentais em todos os processos biológicos. São utilizadas na regeneração dos tecidos, funcionam como catalisadores nas reações bioquímicas que envolvem enzimas ou hormônios, são necessárias nas reações imunológicas e indispensáveis nos fenômenos de crescimento e reprodução. Quimicamente, as proteínas são polímeros formados por unidades monoméricas chamadas de  $\alpha$ -aminoácidos, unidos entre si por ligações peptídicas.

Os  $\alpha$ -aminoácidos possuem um átomo de carbono central ( $\alpha$ ) ligado covalentemente a um grupo amino primário ( $-\text{NH}_2$ ), a um grupo carboxílico ( $-\text{COOH}$ ), a um átomo de hidrogênio e a uma cadeia lateral (R) diferente para cada aminoácido. A cadeia lateral é o que difere os aminoácidos em sua estrutura, tamanho, cargas elétricas e solubilidade em água, além de conferir propriedades físico-químicas.

Existem 20 (vinte) aminoácidos que participam da síntese proteica, que podem ser classificados nutricionalmente em dois grupos: os aminoácidos essenciais e os não essenciais (Figura 2.2). Os aminoácidos essenciais são aqueles em que o organismo humano não é capaz de sintetizar, mas é requerido para o seu funcionamento: fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano, histidina e valina. Os aminoácidos não essenciais são também necessários para o funcionamento do organismo humano, podem ser sintetizados pelo organismo humano a partir de determinados metabólitos: alanina, asparagina, glutamina, ácido aspártico, ácido glutâmico, serina, arginina, cisteína, glicina, prolina, tirosina. Há cientistas que consideram alguns aminoácidos não essenciais como aminoácidos condicionalmente essenciais que são requisitados apenas em situações patológicas ou em organismos jovem e em crescimento: arginina, cisteína, glicina, glutamina, prolina e tirosina.

**Figura 2.3** - Fórmula estrutural dos aminoácidos essenciais e não essenciais.

Aminoácidos essenciais					
					
Valina (Val/V)	Histidina (His/H)	Isoleucina (Ile/I)	Leucina (Leu/L)	Lisina (Lys/K)	Metionina (Met/M)
					
Fenilalanina (Phe/F)	Treonina (Thr/T)	Triptofano (Trp/W)			
Aminoácidos não essenciais					
					
Alanina (Ala/A)	Arginina (Arg/R)	Asparagina (Asn/N)	Ácido aspártico (Asp/D)	Ácido glutâmico (Glu/E)	
					
Glicina (Gly/G)	Serina (Ser/S)	Prolina (Pro/P)	Cisteina (Cys/C)	Tirosina (Tyr/Y)	Glutamina (Gln/Q)

Fonte: Site da wikiversidade (2011).

A qualidade nutritiva de um alimento pode ser avaliada por meio de métodos *in vitro* e *in vivo*. Os métodos *in vitro* permitem obter as primeiras informações sobre o teor dos macro e micronutrientes de um alimento, tais como composição química centesimal, perfil de aminoácidos, perfil de ácidos graxos, vitaminas e minerais, digestibilidade do amido da proteína. Estes dados permitem estimar o valor nutricional de um alimento ou de misturas de alimentos. Estas determinações são relativamente simples e rápidas. Como desvantagem, os métodos *in vitro* não consideram toda a complexidade dos processos de digestão e absorção de alimento e as interferências que um nutriente possa ter sobre o outro, uma vez que se analisa um determinado nutriente de cada vez (De ANGELIS, 1995; SGARBIERI, 1996).

Entretanto os métodos biológicos ou *in vivo* se baseiam em testes de alimentação usando animais experimentais ou mesmo o homem. A vantagem destes métodos é que permite determinar, em última análise, a biodisponibilidade do nutriente/dieta diretamente a espécie estudada. Eles são aplicados com a finalidade de determinar o valor nutritivo global de um alimento ou de uma dieta, a biodisponibilidade de um determinado nutriente presente no alimento e o requerimento mínimo de um nutriente necessário para atender as necessidades do animal/indivíduo estudado (De ANGELIS, 1995; SGARBIERI, 1996).

Existem diversos outros métodos para avaliar a qualidade proteica. O CEP (coeficiente de eficiência proteica) determina a capacidade de uma proteína para promover o ganho de peso de ratos recém desmamados, em relação à quantidade de proteína consumida. O RPL (razão proteica líquida) é uma modificação do CEP e acrescenta ao ganho de peso do grupo com dieta proteica a perda de peso de um grupo com dieta aprotéica. O RPL é determinado no 14º dia do experimento, tomando-se o ganho de peso do grupo teste mais a perda de peso do grupo de dieta aprotéica em relação ao consumo de proteína do grupo teste, segundo Bender e Doell (1957). Essa soma de perda de peso elimina possíveis erros ocorridos nos valores de CEP decorrentes de variações nos teores de proteína na dieta. O UPL (utilização proteica líquida) é uma medida de qualidade da proteína com base na porcentagem de nitrogênio ingerido e que é retido pelo organismo. Quanto maior o nitrogênio retido melhor será a qualidade da proteína experimental. Os resultados obtidos com animais podem ser extrapolados para o homem, tomando-se alguns cuidados pelo fato de que

as necessidades dos animais e de humanos serem diferentes. (DUTRA-DE-OLIVEIRA; MARCHINI, 1998).

### 2.3.1 Proteínas do Grão de Amarantho

As proteínas do grão de amarantho estão na sua maioria (65%) no embrião e na casca e os outros 35%, no perisperma. Esta distribuição é diferente da encontrada em outros grãos de arroz, milho e trigo, em que a maior parte da proteína se encontra no endosperma. As proteínas encontradas no embrião são mais ricas em aminoácidos essenciais, quando comparadas com as proteínas de reserva, no perisperma. Outra característica importante da proteína do grão de amarantho é ela não possuir a fração co-gliadina, que pode ser responsável pelo desenvolvimento de reação alérgica (dermatites, asma) e de doença celíaca (MARCÍLIO et al., 2005).

Segundo Bressani (1994), independentemente da espécie, cor do grão e do local de plantio, existe uma grande variabilidade no conteúdo proteico do grão de amarantho, de 13,5% a 22,5%, isto pode estar associado a inúmeros fatores tais como influência genética, condições climáticas e práticas de cultivos.

As frações que compõem a proteína do amarantho são classificadas como albumina, globulina, prolamina e glutelina. Segundo Segura-Nieto; Barba-de-La-Rosa; Paredes-Lopez (1994), muitos dos resultados com amarantho indicam que a principal fração é a albumina, no entanto, outros estudos revelaram para duas variedades de *A. cruentus*, a globulina como a maior fração (44,2%), seguida da glutelina (21,8%), da albumina (8,9%) e da prolamina (2 a 8,1%).

A fração globulina é rica em aminoácidos sulfurados; a glutelina, em triptofano e leucina; a albumina é rica em triptofano, treonina e lisina; e a prolamina, em treonina e leucina (GORINSTEIN et al., 2002). A proteína do amarantho é, portanto, uma boa fonte de lisina, triptofano e aminoácidos sulfurados, em contraste com o milho, deficiente em lisina, e arroz e trigo que são limitantes em lisina e triptofano. Para tanto, existe um interesse em produzir misturas de farinhas de amarantho com outras de cereais para aumentar a oferta de proteína de boa qualidade para grupos com desnutrição proteica calórica.

## 2.4 O AMIDO

O amido é a principal substância de reserva nas plantas superiores, fornecendo 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem. O amido é estocado nas plantas sob a forma de grânulos semicristalinos que apresentam uma complexa estrutura altamente ordenada, cuja composição, tamanho e forma variam com a sua fonte, que pode ser raízes e tubérculos, caso da mandioca e a batata, e cereais, caso do milho, trigo e arroz. De um modo geral, os grânulos de amido têm sua estrutura e propriedades funcionais alteradas durante o desenvolvimento da planta, sendo mais drásticas durante a fase de amadurecimento (FRANCO et al., 2002).

Os grânulos de amido são formados por polímeros de amilose e amilopectina. A funcionalidade do amido, assim como a sua organização física na estrutura granular, é atribuída grandemente a estes dois polímeros (BILIADERIS, 1991). Além desses polímeros, o grânulo de amido contém compostos nitrogenados, lipídios e minerais que, apesar de estarem em baixa concentração, podem ter uma influência marcante nas propriedades do amido (CIACCO; CRUZ, 1982).

Durante o crescimento do grânulo, as moléculas dos polímeros se depositam em camadas sucessivas ao redor de um ponto central, o hilo, formando regiões cristalinas, também chamadas de micelas. Segundo Linden e Lorient (1997), as micelas mantêm a estrutura do grânulo, permitindo o inchamento em água quente sem a sua ruptura completa e são também responsáveis pelo desvio da luz polarizada que incide sobre o grânulo de amido. É o chamado fenômeno de birrefringência.

O arranjo da amilose e da amilopectina nos grânulos leva à formação de zonas de deposição mais ou menos densas. A região onde se encontra a amilopectina é mais densa ou cristalina, por ser mais compacta, dificulta a entrada de moléculas de água e enzimas, sendo, portanto, mais resistente ao processo de hidrólise. A amilose é uma molécula essencialmente linear formada por unidades de D-glicose ligadas em  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) com um pequeno número de ramificações que formam um complexo com o iodo de coloração azul, é instável em soluções aquosas diluídas, formando um retículo pela propriedade de retrogradação (FRANCO et al., 2002).

A amilopectina é uma molécula altamente ramificada formada por unidades de D-glicose ligadas em  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4), com 5 a 6% de ligações glicosídicas  $\alpha$  (1 - 6) nos pontos de ramificações, que se localizam na posição do carbono 6. Cada ramificação contém cerca de 20 a 30 unidades de glicose (CIACCO; CRUZ, 1982).

Devido ao seu tamanho e à sua natureza ramificada, a amilopectina tem pouca mobilidade e baixa tendência para formar pontes de hidrogênio. Como resultado, as soluções aquosas de amilopectina são caracterizadas pela transparência, estabilidade, por não formarem filmes fortes e flexíveis (como a amilose) e também não formarem um complexo com o iodo de coloração azul intensa (BANKS; GREENWOOD, 1975).

A grande maioria dos amidos contém 20 a 30% de amilose, 70 a 80 % de amilopectina e outros componentes, em menores quantidades, como lipídios, proteínas, fósforo e outros minerais (JACOBS; DELCOUR, 1998). Estas substâncias são partes da própria planta de onde o amido foi extraído, por isso a quantidade delas no amido depende da composição da planta e do método de extração do amido.

O amido contribui enormemente para a propriedade textural desejável de vários alimentos, e as mudanças que o amido sofre durante e após o processamento do alimento são influenciadas por vários fatores, incluindo a origem botânica do amido, suas modificações físicas ou químicas e a variedade e quantidade de outros ingredientes presentes no sistema alimentar (OSMAN 1975; CIACCO; CRUZ, 1982).

A qualidade nutricional do amido depende fortemente da sua estrutura e de seu processamento. Durante o processamento, ocorrem interações do amido com fibras, proteínas e outros componentes que podem dificultar a efetiva difusão e adsorção da enzima  $\alpha$ -amilase no substrato. São vários os fatores que podem influenciar o processo de hidrólise enzimática do amido, entre eles, o tamanho do grânulo de amido, apresentando os grânulos pequenos, como os do amido de cereais, alta susceptibilidade enzimática, enquanto os grânulos do amido de batata, por serem grandes e apresentarem superfície lisa, oferecem resistência à digestão enzimática (OATES, 1997; FRANCO; RIO PRETO; CIACCO, 1992), o acesso das enzimas no amido, a disponibilidade de água para a hidrólise das ligações glicosídicas e as taxas reduzidas de difusão de substratos devida à alta viscosidade do meio. Outros fatores tais como técnicas de processamento, presença de outros componentes como proteínas, lipídios, inibidores/antinutrientes também podem afetar significativamente a hidrólise do amido (ENGLYST; VEENSTRA; HUDSON, 1996).

A digestão dos grânulos de amido é um processo complexo que inclui diferentes fases: difusão da enzima para o substrato, adsorção da enzima no material amiláceo e a ocorrência da hidrólise do amido (COLONNA; LELOUP; BULÉON,

1992). Diferenças na digestibilidade *in vitro* do amido entre e dentro da espécie têm sido atribuídas a vários fatores tais como a fonte do amido, o tamanho do grânulo, a proporção de amilose/amilopectina, o grau de associação molecular entre os componentes do amido, o grau de cristalinidade e os complexos amilose-lipídios (HOOVER; SINNOTT; PERERA, 1998).

A liberação de glicose como uma fonte de energia para o corpo e a duração da sua digestão são as principais propriedades fisiológicas do amido. A digestibilidade no corpo humano pode ocorrer de uma forma rápida, produtos da hidrólise do amido, até a indigestibilidade, caso do amido resistente. Segundo Goni, Garcia-Alonso e Saura-Calixto (1997), a determinação *in vitro* da digestibilidade dos carboidratos para estimar a resposta glicêmica dos ingredientes ou de complexos alimentares é de grande interesse, uma vez que as avaliações *in vivo* são invasivas, demoradas e caras.

O conceito do índice glicêmico foi introduzido para classificar os alimentos com base na resposta pós-prandial de glicose no sangue. O índice glicêmico é definido como a área incremental da glicemia pós-prandial após uma refeição teste, sendo expresso como o percentual da área correspondente após uma porção de igual carboidratos de um alimento de referência como a glicose ou pão (GONI; GARCIA-ALONSO; SAURA-CALIXTO, 1997).

Alguns pesquisadores veem o índice glicêmico como uma ferramenta não fidedigna, uma vez que o mesmo não considera as porções reais consumidas por um indivíduo e consideram a carga glicêmica como um melhor indicador de risco de doenças crônicas. Já a carga glicêmica fornece o resultado do efeito glicêmico da dieta porque avalia não só a qualidade, mas a quantidade do carboidrato a partir de uma determinada porção consumida na dieta. A carga glicêmica é o resultado da multiplicação da quantidade de carboidratos disponíveis na porção de alimento consumida pelo seu índice glicêmico (MOURA; COSTA; NAVARRO, 2007; CAPRILES; GUERRA-MATIAS; ARÊAS, 2009).

Várias foram as proposições de metodologias para determinação da digestão do amido *in vitro*, segundo Goni, Garcia-Alonso e Saura-Calixto (1997), Englyst, Kingman, Cummings (1992) e outros. Segundo Lehmann e Robin (2007), um dos mais usados é o método de análise cinética da digestão do amido, publicado por Englyst e colaboradores. Várias etapas da metodologia simulam a digestão enzimática, *in vivo*, no estômago e no intestino, e a glicose liberada segundo um

cronograma é medida. Vários estudos encontraram uma boa correlação entre os resultados obtidos com este método e a resposta *in vivo* para índice glicêmico em indivíduos saudáveis e pacientes com ileostomias, verificando sua aplicabilidade como uma ferramenta para estimar a resposta fisiológica.

Englyst e colaboradores (apud ALSAFFAR, 2011) classificaram os amidos em rapidamente digestíveis (ARD), lentamente digestíveis (ALD) e resistentes (AR), de acordo com a susceptibilidade do amido à enzima pancreática (*in vitro*) (Tabela 2.2) e também definiram a glicose rapidamente disponível (GRD) como a soma da glicose livre e a glicose liberada no período de 20 minutos de hidrólise do amido e a possível ligação entre a quantidade desta fração com o índice glicêmico de alguns alimentos. Mais recentemente, classificaram as frações ARD e ALD como carboidratos "disponíveis" ou "glicêmicos", e a fração AR como carboidrato "não-glicêmico"

**Tabela 2.2** Classificação e características das frações de amido

Características	Frações de amido		
	Amido rapidamente digestível (ARD)	Amido lentamente digestível (ALD)	Amido resistente (AR)
Digestão <i>in vitro</i>	Até 20 min. (boca e intestino delgado)	20 -120 min. (intestino delgado)	> 120 min. (cólon)
Exemplo	Alimento recém-cozido	Amido de milho ceroso nativo, legumes	Pão de batata envelhecido
Quantidade (g/100g bs)	Batata cozida quente (65)	Milho cozido (28)	Amido de batata (75)
Propriedade fisiológica	Fonte rápida de energia	Mantém ou reduz lentamente a fonte de energia e os níveis de glicose no sangue	Efeitos no intestino: prebiótico, fermentação e hipótese de anticancerogênico
Estrutura	Principalmente amorfos	Amorfos e cristalinos	Dependendo do tipo principalmente cristalino

**Fonte:** Lehmann e Robin (2007).

Estudos mais recentes sobre AR estão concentrados em seus possíveis efeitos fisiológicos e sua adequação para uso como ingrediente alimentar e tem-se demonstrado que AR possui propriedades semelhantes à fibra dietética. No entanto, ao contrário de fibra dietética, AR não parecem ter um efeito negativo sobre a qualidade dos produtos (ALSAFFAR, 2011).

A tabela 2.3 apresenta um resumo dos diferentes tipos de AR, sua classificação e fontes de alimentos.

**Tabela 2.3** - Classificação de tipos de amido resistente (AR), fontes de alimentos e fatores que afetam sua resistência à digestão no cólon.

Tipos	Descrição	Fontes de alimentos	Fatores que afetam a resistência
AR <sub>1</sub>	Fisicamente protegido	Grãos inteiros ou parcialmente moídos, sementes e legumes.	Moagem, mastigação
AR <sub>2</sub>	Grânulos de amido não gelatinizado com cristalinidade tipo B, lentamente hidrolisado pela $\alpha$ -amilase.	Batatas, banana verde, milho com alta amilose.	Processamento do alimento e cocção.
AR <sub>3</sub>	Amido retrogradado.	Batatas cozidas e resfriadas, pão e produtos com tratamentos repetidos de calor e umidade.	Condições de processamento.
AR <sub>4</sub>	Pastas de amido modificado quimicamente	Alimentos com amido modificados: pão e bolo.	Menos susceptível a digestibilidade <i>in vitro</i> .

**Fonte:** Nugent (apud SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006)

#### 2.4.1 Amido do Amarantho

O amido é o carboidrato mais abundante no amaranto, variando de 48 % para *A. cruentus* a 62 % para *A. hypochondriacus*. O amido está depositado principalmente no perisperma (IRVING; BETSCHART; SAUNDERS, 1981). A forma do grânulo de amido do *A. hypochondriacus* foi caracterizada como esférica ou poligonal, para o *A. cruentus*, esférica, angular e poligonal, com o tamanho que varia de 1 a 3 um de diâmetro (SAUNDERS; BECKER, 1984). Hoover; Sinnott, Perera (1998), estudando o grânulo de amido de três cultivares de *A. cruentus*, encontraram

valores de 0,75 a 1,5 um de diâmetro, formato poligonal, superfície lisa sem evidência de qualquer fissura. Além dessas características, o amido destas cultivares apresenta fator de intumescimento maior (40 a 55) que de outros cereais como trigo 20, e milho 15,9, sendo os géis de amidos resistentes ao ciclo de congelamento/descongelamento, apresentando alta susceptibilidade à  $\alpha$ -amilase pancreática (74,3% a 80,1%) quando comparado aos amidos de milho (42,5%) e de trigo (63 %).

Segundo Tapia-Blácido, Sobral e Menegalli (2010), o amido encontrado nas duas espécies de *Amaranthus*, *caudatus* e *cruentus* pode ser considerado tipo "waxy" pela presença de baixo conteúdo de amilose (8,20% e 13,1%) e, conseqüentemente, alto de amilopectina.

A forma e a estrutura cristalina dos grânulos de amido são características de cada vegetal e podem ser visualizadas através de padrões de difração de Raios X, sendo divididos em três tipos: A, B e C. O tipo A é geralmente encontrado em amidos de cereais; o B é observado em alguns tubérculos, na banana verde e em amidos de milho com alto teor em amilose; e o C é encontrado freqüentemente em amidos de leguminosas e sementes, sendo considerado por alguns autores, uma combinação dos tipos A e B (LOBO; LEMOS SILVA, 2003). O grânulo de amido do amaranto (*A. cruentus*) é do padrão tipo A, semelhante ao arroz e milho, apresenta alta cristalinidade e baixa viscosidade e maior temperatura de gelatinização em comparação com o amido de milho tipo "waxy" (JIAN; KUHN, 1999).

Calzetta-Resio, Tolaba e Suarez (2000) estudando as propriedades físicas do amido de amaranto verificaram seu alto poder de intumescimento e alta capacidade de absorção de água e sua baixa solubilidade em comparação com o amido de milho comercial.

Segundo González et al. (2007) a fração do grão de amaranto rica em amido quando submetida a extrusão (alta temperatura, 200°C e baixa umidade, 12 %) produzem farinhas com alta solubilidade, baixa absorção de água e baixa consistência da suspensão fria ou quente. Por outro lado, a fração submetida ao processo de leito fluidizado-ar quente (alta temperatura, 200°C e baixa umidade, 12 %) produz farinhas de baixa solubilidade, alta absorção de água e alta consistência da suspensão quente ou fria.

## 2.5 CONSUMO DO AMARANTO

O amaranto pode ser aproveitado integralmente, sendo suas folhas, flores e caules consumidos como verduras ricas em vitamina C, carotenoide, ferro e proteína de boa qualidade, e os grãos, inteiros ou moídos, como cereal, os quais fornecem aporte energético, fibras e, também, proteína de alto valor nutricional (COELHO et al., 2005).

Por ser um grão muito pequeno, são várias as dificuldades na cadeia produtiva do amaranto, devendo haver adaptações no sistema produtivo e na comercialização. Uma das formas seria a incorporação em formulações, o que iria promover modificações na sua qualidade funcional e nutricional, criando novos produtos ou enriquecendo os produtos habituais. Na área de processamento de alimentos, eram necessárias pesquisas sobre o período de armazenamento do grão, do concentrado proteico e sobre os efeitos do processamento na qualidade funcional e nutritiva das folhas e do grão de amaranto (TEUTONICO; KNORR, 1985).

Durante as últimas décadas, muitos trabalhos têm sido publicados mostrando uma vasta quantidade de informações dos componentes nutricionais, digestibilidade e problemas que podem ser encontrado advindo do uso dos grãos de amaranto como ingrediente ou produto alimentício (ARELLANO, et al., 1990; BELTON; TAYLOR, 2002; GAMEL et al., 2006; TAPIA-BLÁCIDO; SOBRAL; MENEGALLI, 2010). Devido à sua característica de alimento naturalmente balanceado, o amaranto pode ser utilizado sem acompanhamento, tanto como grão inteiro, como farinha integral, ou em combinação com outros cereais (trigo, milho, arroz) e tubérculos (batata, mandioca). Algumas dessas aplicações incluem panificação e cereais matinais (COSTA; BORGES, 2005; CAPRILES et al. 2006; BODROZA-SOLAROV et al., 2008).

O amaranto é também um alimento ideal para pessoas portadoras de doença celíaca, por não possuir glúten e proteger o intestino, aumentando a capacidade de absorção de nutrientes e diminuindo riscos de infecções decorrentes da erosão da mucosa intestinal (MARCÍLIO et al., 2005).

O amido do amaranto é considerado superior ao de milho, no qual se espera alcançar máxima viscosidade, exhibe resistência ao congelamento e descongelamento, além de ser apropriado para a fabricação de produtos hipoalergênicos para bebês, pela ausência de glúten e presença de níveis elevados

de proteína (ALVAREZ-JUBETE; ARENDT; GALLAGHER, 2009; AMAYA-FARFAN; MARCÍLIO; SPEHAR, 2005). A fração do grão de amaranto rica em amido rico obtida por moagem diferencial do amaranto grãos pode ser considerado uma matéria-prima interessante para a produção de farinhas pré-cozidas com propriedades de hidratação diferenciadas através da aplicação dos processos de extrusão ou de aquecimento em leite fluidizado (ar quente) em frações de amidos com diferentes teores de umidade (GONZALEZ et al. 2007).

## 2.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSAFFAR, A. A. Effects of food processing on the resistant starch content of cereals and cereals products - a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, p. 455-462, 2011.

AMAYA-FARFAN, A.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C.R. A proposta do amaranto. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v.12, n.1, p.47-56, 2005.

ARELLANO, M.; LUQUEZ, N.; SCOGNAMILLO, G.; MUCCIARELLI, S. Semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.): valor potencial alimentício. **Revista Chilena Nutrición**, V.18, n.1, p.29-33, abr., 1990.

ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 60 n. S4, p. 240-257, 2009.

BANKS, W.; GREENWOOD, C.T. **Starch and its components**. Edinburgh: Academic Press, 1975.

BECKER, R.; WHEELER, E. L.; LORENZ, K.; STAFFORD, A. E.; GROSJEAN, O. K.; BETSCHART, A. A.; SAUNDERS, R. M. A composition study of amaranth grain. **Journal. Food Science**, Chicago, v. 46, n. 4, p. 1175-1180, 1981.

BENDER, A.E.; DOELL, B.H. Note on the determination of net protein utilization by carcass analysis. **British Journal of Nutrition**, v.11, p. 138-143, 1957.

BELTON, P.S.; TAYLOR, J.R.N. **Pseudocereals and Less Common Cereals Grain: properties and utilization potential**. New York: Springer, 2002. p.219-260.

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

BETSCHART, A. A.; IRVING, D. W.; SHEPHERD, A. D.; SAUNDERS, R. M. *Amaranthus cruentus*: milling characteristics, distribution of nutrients within seeds

components and the effects temperature on nutritional quality. **Journal Food Science**, Chicago, v.46, n. 4, p.1181-118, 1981.

BILIADERIS, C.G. The structure and interations of starch with food. **Candian Journal of Physiology Pharmacology**, v.16, p.60-78. 1991.

BODROZA-SOLAROV, M.; FILIPCEV, B.; KEVRESAN, Z.; MANDIC, A.; SIMURINA, O. Quality of Bread supplemented with popped *Amaranthus cruentus* grain. **Journal of Food Process Engineering**, v. 31, p. 602-618, 2008.

BRAMBILLA, T. R.; CONSTANTINO, A. P. B.; D'OLIVEIRA, P. S. Efeito da adubação nitrogenada na produção de amaranto. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológica**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 761-768, out./dez., 2008

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de orçamento familiar 2008-2009**: despesas, rendimentos e condições de vida. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/20082009/P\\_OFpublicacao.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/20082009/P_OFpublicacao.pdf)>. Acesso em: jul. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 1 de 5 de janeiro de 2011. Aprova os requisitos fitossanitários para importação de grãos (Categoria 3, Classe 9) de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.), produzidos no Peru. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 7 jan. 2011, Seção 1.

BREENE, W. M. Food uses of amaranth grain. **Cereal Food Word**, St. Paul, v.36, n.5, p.426-430, 1991.

BRENNER, D. Genetic resources and breeding of amaranthus. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 19, p. 227-286, 2000.

BRESSANI, R.; ELIAS, C.G.; GARCIA-SOTO, A. Limiting amino acids in raw and processed amaranth grain protein from biological test. **Plants Foods for Human Nutrition**, Netherlands, v.39, n.3, p.223-234, 1989.

BRESSANI, R. Composition and nutritional properties of amaranth. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed). **Amaranth: biology, chemistry, and technology**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.185-1205.

CALZETTA-REZIO, N.A.; TOLAVA, M.P.; SUAREZ, C. Some physical and thermal characteristics of amaranth starch. **Food Science Technology International**. v.10, n.5, p.371-378. 2000.

CASTRO, M. V. L.; NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, J. P.; FROES, L. O. Rendimento industrial e composição química de milho de alta qualidade proteica em relação a híbridos comerciais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 233-242, 2009.

CAPRILES, V. D.; COELHO, K. D.; GUERRA-MATIAS, A. C., ARÊAS, J. A. G. Efeito da adição de amaranto na composição e na aceitabilidade do biscoito tipo cookie e do pão de forma. **Alimentos e Nutrição**, v.17, n.13, p.269-274, 2006.

CAPRILES, V. D.; COELHO, K. D.; GUERRA-MATIAS, A. C., ARÊAS, J. A. G. Effects of processing methods on amaranth starch digestibility and predicted glycemic index. **Journal of Food Science**, v.73, n.7, p. H161-H164, 2008.

CAPRILES, V. D.; GUERRA-MATIAS, A. C.; ARÊAS, J. A. G. Marcador in vitro da resposta glicêmica dos alimentos como ferramenta de auxílio à prescrição e avaliação de dietas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 549-557, jul/ago, 2009.

CARLSSON, R. Grain composition of Amaranthaceae and Chenopodiaceae species. In: CAMPBELL, G.M.; WEBB, C.; MCKEE, S.L. (Org.) **Cereal: novel uses and processes**. New York: -----, 1997, cap. 11.

CIACCO, C. F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo. Secretaria de Indústria e Comércio, Ciência e Tecnologia. 1982, 151 p.

COELHO, K.D., BOMBO, A. J., TIENGO, A. C. A., ARÊAS, J. A. G. Extrusão de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. BRS-Alegria) e linhaça (*Linum sitatissimum* L.) para a obtenção de cereal matinal de alto valor nutritivo. 8º Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição, São Paulo, SP. **Nutrire**, v.30, p. 24, 2005.

COLONNA, P.; LELOUP, V.; BULÉON, A. Limiting factors of starch hydrolysis. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p. S17-S32, 1992.

COLUCCI, A. C. A. Consumo alimentar da população brasileira: evolução nos últimos anos. **Science e Nutrition**, v.4, p.1-20, 2010.

COONS, M. P. O gênero *Amaranthus* em Minas Gerais. **Experientiae**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 115-158, 1981.

COSTA, D.M.; BORGES, A.S. Avaliação da produção agrícola do amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). **Holos**, Ano 21, maio, 2005.

DE ANGELIS, R. C. Valor nutricional das proteínas: métodos de avaliação. **Caderno de Nutrição**, 10: 8-29, 1995.

DUTRA-DE-OLIVEIRA, J. E., MARCHINI, J. S. **Ciências nutricionais**. São Paulo: Sarvier, 1998.

ENGLYST, H. N.; VEENSTRA, J.; HUDSON, G. J. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential *in vitro* predictor of the glycemic response. **British Journal of Nutrition**, v. 75, p. 327-337, 1996.

ENGLYST, H.N.; KINGMAN, S.M.; CUMMINGS, J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, p. S33-S50, 1992.

ESCUADERO, N. L.; ARELLANO, M. L.; LUCO, J. M.; GIMÉNEZ, M. S.; MUCCIARELLI, S. I. Comparation of the chemical composition and nutritional value of *Amaranthus cruentus* flour and its protein concentrate. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 59, p. 15-21, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of Food Insecurity in the World: Eradicating world hunger - key to achieving the Millennium Development Goals.** FAO. Rome. 2005.

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; CEREDA, M.O.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais de amido.** Série: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. Fundação Cargill, v.1. Jan, 2002. 203p.

FRANCO, C.M.L.; RIO PRETO, S.J.; CIACCO, C.F. Factors that affect the enzymatic degradation of natural starch granules: effect of the size of granules. **Starch/Starke**, v.44, p.422-426, 1992.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Nutritional study of raw and popped seed protein of *Amaranthus caudatus* L and *Amaranthus cruentus* L. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p.1153-1158, 2004.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: starch and protein. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 319327, 2005.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Seed treatments affect functional and antinutritional properties of amaranth flours. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 1095-1102, 2006.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, n 3, p 427-437, 1997.

GORINSTEIN, S.; PAWELZICK, E.; DELGADO-LICON, E.; HARUENKIT, R.; WEISZ, M.; TRAKHTENBERG, S. Characterization of pseudocereal and cereal protein by protein and amino acid analyses. **Journal Science Food Agriculture**, v. 82, p. 886-891, 2002.

GONZÁLEZ, R.; CARRARA, C.; TOSI, E.; ANÓN, M. C.; PILOSOFF, A. M. R. Amaranth starch-rich fraction properties modified by extrusion and fluidized bed heating. **LWT**, v. 40, p. 136-143, 2007.

HOOVER, R.; SINNOTT, A. W.; PERERA, C. Physicochemical characterization of starches from *Amaranthus cruentus* grains. **Starch/Starke**, v.11, n. 12, p. S456-463, 1998.

IRVING, D. W.; BETSCHART, A. A.; SAUNDERS, R. M. Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. **Journal Food Science**, Chicago, v.46, n.4, p. 1170-1174, 1981.

JACOBS, H.; DELCOUR, J.A. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of granular structure: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, n.8, p. 2896-2905, ago., 1998.

JACOBSEN, S.; ITENO, K.; MUJICA, A. **Amaranto como un cultivo nuevo en el norte de Europa**, Escuela de Postgrado, Puno, Perú, 2001.

JIAN, Y.Q.; KUHN, M. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* starch. **Starch/Staerke**, v. 51, p. 116-120, 1999.

KAUFFMAN, C. The status of grain amaranth for the 1990's. **Food Review International**, New York, v. 8, n. 1, p. 165-185, 1992.

LEHMANN, V.; ROBIN, F. Slowly digestible starch its structure and health implications: a review. **Trends in Food Science and Technology**. v.18, p.346-356, 2007.

LOBO; A. R.; LEMOS SILVA, G. M. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2 p. 219-226, abr./jun., 2003.

LINDEN, G.; LORIENT, D. **Bioquímica agroindustrial revelación alimentar de la producción agrícola**. Zaragoza: Acribia cap.11, 1997. p. 283-293.

MARCÍLIO, R.; AMAYA-FARFAN, J.; SILVA, M.A.A.P.; SPEHAR, C. R. Avaliação da farinha de amaranto na elaboração de biscoito sem glúten do tipo "cookie". **Brazilian Journal. Food Technology**, São Paulo, v.8, n.2, p.175-181, abr-jun.,2005.

MLAKAR, S. G.; TURINEK, M.; JAKOP, M.; BAVEC, M.; BAVEC, F. Grain amaranth as an alternative and perspective crop in temperate climate. **Journal for Geography**, v.5, v.1, p. 135-145, 2010.

MOURA, C. M. A.; COSTA, S. A.; NAVARRO, F. Índice glicêmico e carga glicêmica: aplicabilidade na prática clínica do profissional nutricionista. **Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, São Paulo ,v.1, n. 6, p. 01-11, Nov/Dez. 2007.

OATES, C.G. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends in Food Science and Technology**. v.8, p.375-382, 1997.

OLESZERK, W.; JUNKUSZEW, M.; STOCHMAL, A. Determination and toxicity of saponins from *Amaranthus cruentus* seeds. **Journal of the Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v.47, n.9, p. 3685-3687, set., 1999.

OSMAN, E.M. Interaction of starch with other components of food systems. **Food Technology**, v.29, n.4, p. 30-35, fev., 1975.

SAJILATA, M.G.; SINGHAL, R.S.; KULKARNI, P.R. Resistant starch - a review. **Comprehensive reviews in food and food safety**, v.5, p. 1-16, 2006.

SANCHEZ, A. M.; DÍAZ, M. **El cultivo del amaranto (*amaranthus spp.*):** producción, mejoramiento genético y utilización. Chile, 1997. Disponível em: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro01/home1 .htm>. Acesso em agosto de 2011.

SAUNDERS, R. M.; BECKER, R. Amaranthus: a potential food and feed resource. In: POMERANZ, Y. (Org.). **Advances in cereal science and technology**,.. Minnesota: American Association of Cereal Chemists Inc., 1984. v.4, cap. 6.

SEGURA-NIETO, M.; BARBA DE LA ROSA, A. P.; PAREDES-LOPEZ, O. Biochemistry of amaranth proteins. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed). **Amaranth: biology, chemistry, and technology**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.75-106.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradação e modificações**. São Paulo: Livraria Varela, 1996. 517 p.

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**, Brasília, v.38, n.5, p.659-663, maio, 2003.

STALLKNECHT, G. F.; SCHULLZ-SCHAEFFER, Amaranth rediscovered. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Org.). **New Crops**. New York: Wiley, 1993. p.211-218.

TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Potential of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria in the production of flour, starch and protein concentrate: chemical, thermal and rheological characterization. **Journal Science Food Agriculture**, v. 90, p. 1185-1193, 2010.

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

TEUTONICO, R. A.; KNORR, D. Amaranth: composition properties and applications of a rediscovered food crop. **Food Technology**, v.39, n.4, p.49-61, abr., 1985.

TOSI, E. A.; RÉ, E. LUCERO, H.; MASCIARELLI, R. Acondicionamiento del grano del grano de amarantho (*Amarantho spp*) para la obtención de uma harina hiperproteica mediante molienda diferencial. **Food Science and Technology International**, v. 5, n. 6, p. 60-63, 2000.

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

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; ÁVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WILLIAMS, J. T.; BRENNER, D. Grain amaranth (*Amaranthus species*). In: WILLIAMS, J. T. (Ed.). **Underutilized crops: cereals and pseudocereals**. London: Chapman Hall, 1995. p. 128-186.

WIKIVERSIDADE. Introdução à Bioquímica/Constituintes estruturais dos sistemas vivos/Aminoácidos e proteínas/Estrutura e classificação dos aminoácidos. Disponível em: <[http://pt.wikiversity.org/wiki/Introdu%C3%A7%C3%A3o\\_%C3%A0\\_Bioqu%C3%A4mica/Constituintes\\_estruturais\\_dos\\_sistemas\\_vivos/Amino%C3%A1cidos\\_e\\_prote%C3%ADnas/Estrutura\\_e\\_classifica%C3%A7%C3%A3o\\_dos\\_amino%C3%A1cidos](http://pt.wikiversity.org/wiki/Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_Bioqu%C3%A4mica/Constituintes_estruturais_dos_sistemas_vivos/Amino%C3%A1cidos_e_prote%C3%ADnas/Estrutura_e_classifica%C3%A7%C3%A3o_dos_amino%C3%A1cidos)>.\_ Acesso em junho de 2011.

### CAPITULO 3

## UMIDADE E CONGELAMENTO DE GRÃOS DE AMARANTO E SUA CAPACIDADE DE EXPANSÃO TÉRMICA

(BIANCHINI, M. G. A.; BELEIA, 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.)

**Resumo:** Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência do teor de umidade, da temperatura de armazenamento e do momento da hidratação na capacidade de expansão dos grãos de *Amaranthus cruentus* L., variedade BRS Alegria, e comparar a composição química dos grãos crus e pipocados. Foram estudados três fatores: umidade de grãos (9,5, 11,5 e 13,5 g/100g); temperatura de armazenamento (ambiente,  $\pm 28$  °C e congelado,  $-18$  °C); e hidratação, (antes e após congelamento). Utilizou-se chapa metálica aquecida para pipocar os grãos, sem adição de óleo e temperos. Os atributos avaliados foram: diâmetro médio ponderado, volume de expansão, densidade, rendimento, quantidade de grãos descartados e tempo de residência. Grãos congelados a 13,5 g/100g tiveram maior diâmetro médio ponderado e volume de expansão, menor densidade e tempo de residência. A umidade de 13,5 g/100g produziu os maiores rendimentos e expansão dos grãos, e o armazenamento a  $-18$  °C foi melhor que o em ambiente, produzindo pipocas maiores e mais leves. As pipocas apresentaram redução nos teores de proteínas e fibras insolúveis e aumento nos de lipídios e fibras solúveis em relação ao grão cru. O congelamento dos grãos a  $-18$ °C e hidratação a 13,5 g/100g favorecem o pipocamento de *Amaranthus cruentus*, produzindo pipocas de melhor qualidade.

**Palavras-chave:** *Amaranthus cruentus*. Composição química. Pipocamento. Propriedades físicas.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O amaranto é um pseudocereal que vem sendo objeto de estudo pelas suas valiosas características agrônômicas, nutricionais e funcionais. Por ser uma planta capaz de se desenvolver e frutificar em ambientes com luminosidade intensa, altas temperaturas e restrição hídrica, além de apresentar crescimento rápido, tornou-se uma ótima opção para seu cultivo no cerrado brasileiro (SPEHAR et al., 2003).

O grão de amaranto possui, também, elevado valor calórico, conteúdo de proteínas, lipídios, fibras, minerais, em relação à maioria dos cereais e, em estudos recentes, ele vem sendo considerado um alimento funcional pela sua capacidade de reduzir os níveis de colesterol (MENDONÇA, et al., 2009; FERREIRA; MATIAS;

ARÊAS, 2007; AMAYA-FARFAN; MARCÍLIO; SPEHAR, 2005). Os grãos do amaranto têm sido incorporados em diferentes produtos/preparações com intuito de melhorar o valor nutricional e estimular seu consumo. O grão pode ser consumido inteiro, cozido ou expandido, ou ainda, na forma de farinhas, como substituto parcial ou integral da farinha de trigo, na produção de pães, massas, bolos, ou na fabricação de barrinhas de cereais e "snacks", entre outros (BODROZA-SOLAROV, et al., 2008; CAPRILES et al., 2006; COSTA; BORGES, 2005; MARCÍLIO, et al., 2005).

O mecanismo de expansão do grão de amaranto foi explicado por Tovar, Valdivia e Brito (1994) e por Berghofer e Schoenlechner (2002), sendo muito semelhante ao do milho de pipoca. Durante o pipocamento, ocorre mudança do estado da água de líquido para vapor, em um curto intervalo de tempo, dependendo do modo da transferência do calor, causando a expansão. O vapor interno aquece os diferentes tecidos, principalmente o perisperma, causando a expansão dos grânulos de amido, a desnaturação das proteínas de reserva e a ruptura da casca dos grãos.

O pipocamento é a maneira mais fácil de processamento dos grãos de amaranto, além de se obter um produto final de sabor agradável (BRESSANI; SANCHEZ-MARROQUIN; MORALES, 1992). A literatura apresenta vários métodos de pipocamento utilizados para grãos de amaranto, que vão desde o convencional, que usa chapa metálica quente, passando pelo fluxo de ar quente, vapor superaquecido em sistema de leiteo fluidizado, até o uso de extrusoras adaptadas (TIKEKAR; KARWE, 2009; TOSI et al., 1996; TOVAR; VALDIVIA; BRITO, 1994; SINGHAL; KULKARNI, 1991).

A habilidade de pipocar dos grãos de amaranto está relacionada, segundo Tovar, Valdivia e Brito (1994) com o método utilizado, com a variedade e com o conteúdo de umidade dos grãos. A influência da umidade do grão no pipocamento foi estudada por vários autores, entre eles, Zapotoczny et al. (2006), Konishi et al. (2004) e Lara e Ruales (2002), que trabalharam com umidades de grãos, variando entre 12 e 30 g/100g.

Os grãos, de um modo geral, podem ser armazenados a baixas temperaturas, inclusive sob congelamento, para prolongar seu tempo de prateleira. No entanto, segundo Damodaran, Parkin e Fennema (2008), o congelamento altera a estrutura celular dos vegetais, produzindo migrações de moléculas de água de sua localidade normal para os sítios de cristalização, resultando num aumento da tensão interna, levando à separação de células, colapso e ruptura da parede celular. Estas

alterações são percebidas, especialmente, no descongelamento. No caso do amaranto, não há estudos para verificar se o congelamento interfere na capacidade de expansão dos grãos.

Este estudo tem por objetivo examinar a influência do teor de umidade, da temperatura de armazenamento e do momento da hidratação dos grãos de *Amaranthus cruentus* L., variedade BRS Alegria, na sua capacidade de expansão bem como comparar a composição química dos grãos crus e das pipocas de amaranto.

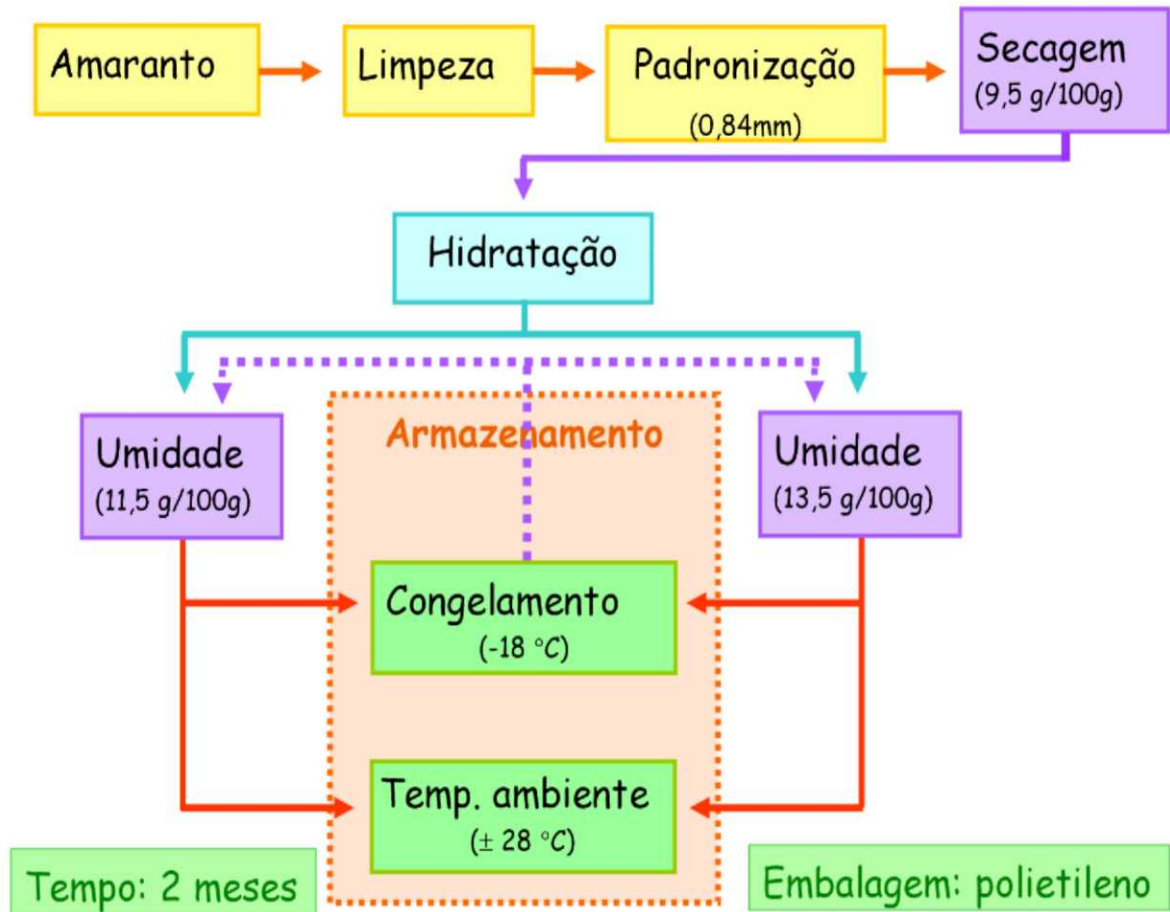
## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Matéria prima**

Os grãos de *Amaranthus cruentus* L., utilizados eram da variedade BRS Alegria, provenientes do município de Sorriso-MT, Brasil. A área onde foi cultivado o amaranto se localiza nas coordenadas geográficas 12°52'30"S e 55°32'291"WGr e altitude de 375 m. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo

AWI. A temperatura média anual é de 26°C, com médias em torno de 37°C no mês mais quente (outubro) e 15°C no mês mais frio (junho). A precipitação média anual está em torno de 2.233 mm, concentrada no período de outubro a março, e a média da umidade relativa do ar é de 80%, mas de 22% no período entre junho e agosto. O semeio do amaranto foi realizado em março e a colheita em junho de 2008. O cultivo foi realizado de acordo com as recomendações de Spehar e Teixeira (2004).

**Figura 3.1** - Fluxograma do processo de limpeza, hidratação e armazenamento dos grãos.



### 3.2.2 Preparo dos grãos

Os grãos, após limpeza por sistema de ventilação, foram padronizados em peneira 20 mesh (abertura 0,84 mm) para remoção de matéria estranha e de grãos chochos. Os grãos padronizados foram secos em estufa com circulação de ar, à temperatura de  $35 \pm 2^\circ\text{C}$ , até atingirem a umidade de 9,5 g/100g (Figura 3.1)

### 3.2.3 Hidratação e armazenamento dos grãos

A hidratação dos grãos para os teores de umidades de 11,5 g/100g e 13,5 g/100g, a partir dos grãos com 9,5 g/100g de umidade (experimento 1 e 2), foi efetuada com água destilada, utilizando-se de um nebulizador. Para promover uma

boa redistribuição da água, os grãos hidratados foram acondicionados em recipientes hermeticamente fechados por 72 horas. Decorrido este tempo, após confirmação do teor de umidade, os grãos foram acondicionados em embalagens de polietileno de 0,3 mm de espessura e submetidos aos tratamentos, conforme estabelecido nos dois experimentos (Figura 3.1).

### 3.2.4 Delineamento experimental

O trabalho constou de dois experimentos independentes, sendo ambos conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado. No primeiro experimento, para avaliar o efeito do congelamento, trabalhou-se com 5 tratamentos e 9 repetições, como se segue:

1. Grãos congelados com 9,5 g/100g de umidade;
2. Grãos congelados com 11,5 g/100g de umidade;
3. Grãos congelados com 13,5 g/100g de umidade;
4. Grãos congelados com 9,5 g/100g de umidade e hidratados após descongelamento para 11,5 g/100g;
5. Grãos congelados com 9,5 g/100g de umidade e hidratados após descongelamento para 13,5 g/100g;

No segundo experimento, adotou-se o esquema fatorial 2x3, conforme apresentado na Tabela 3.1, com 10 repetições.

**Tabela 3.1** - Condições de produção da pipoca de amaranto no experimento com duas formas de armazenamento e três níveis de umidade dos grãos.

Forma de armazenamento	Umidade dos grãos ( g/100g)		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Ambiente	9,5	11,5	13,5
Congelado	9,5	11,5	13,5

### 3.2.5 Produção das pipocar de grãos de amaranto

O pipocamento do grão de amaranto é influenciado, segundo Tovar, Valdivia e Brito (1994), não só pela temperatura, mas também pelo tamanho do recipiente e pela quantidade de grãos utilizada em cada carga. Sendo assim, para obter uniformidade nos tratamentos, padronizaram-se as condições de processamento em função do rendimento e expansão dos grãos, em ensaio prévio. Foi utilizado um recipiente de alumínio com tampa medindo 142 mm de altura, 160 mm de diâmetro, 2 mm de espessura e com capacidade de aproximadamente 4 litros; temperatura de pipocamento variou entre 215 °C e 220 °C (monitorada por termômetro digital, sensor termopar tipo K e resolução de 0,1 °C); e tamanho da amostra fixada em 10 g por ciclo, sem adição de óleo e de temperos. Os grãos pipocados foram peneirados em tamis com malha 1,19 mm, e os que passaram foram descartados.

### 3.2.6 Caracterização das pipocas

As pipocas produzidas foram avaliadas quanto ao tempo de residência, rendimento, quantidade de grãos descartados (GD, volume de expansão (VE), densidade e diâmetro médio ponderado (DMP).

O tempo de residência foi monitorado por um cronômetro, com resolução de centésimos de segundo, e compreendeu o intervalo de tempo entre a deposição dos grãos no recipiente aquecido a 215 °C e o término do pipocamento (quando não mais se ouvia barulho de explosão).

A quantidade de grão a ser descartado (GD) e o rendimento foram obtidos utilizando uma peneira com malha de 1,19 mm. Assim, todos os grãos que passaram pela peneira foram considerados descarte, incluindo nesta categoria os grãos não pipocados e aqueles que pipocaram, mas não conseguiram se expandir adequadamente. O rendimento, expresso em porcentagem, foi obtido em função da massa dos grãos estourados e retidos na peneira de 1,19 mm, pela massa inicial dos grãos crus utilizados no processo.

O volume de expansão (VE), densidade e o rendimento foram obtidos de acordo com Delost-Lewis, Lorenz e Tribelhorn, (1992). O volume de expansão foi calculado pela razão entre o volume do grão estourado e o volume do peso

equivalente de grãos crus. Para medir o volume dos grãos estourados, usou-se uma proveta de 100 mL, com divisões de 1 mL. A acomodação dos grãos dentro da proveta foi feita com auxílio de um funil com posterior vibração, durante 1 minuto, em um agitador horizontal, ajustado para a frequência de vibração de 3.600 Hz. A seguir, o material foi medido e pesado. O volume do grão cru, de igual peso ao encontrado para grão estourado, foi determinado em seguida. A densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) foi obtida determinando-se a massa e volume dos grãos estourados.

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi calculado, considerando o diâmetro médio entre as peneiras e a massa de pipocas retida em cada peneira, conforme metodologia adaptada de Corrêa (2002), usando um conjunto de 5 peneiras, com malhas de 2,00 mm, 1,68 mm, 1,41 mm, 1,19 mm e 1,00 mm. Foi usado um agitador horizontal, ajustado para a frequência de vibração de 3.600 Hz, durante 2 minutos. A seguir, as massas das pipocas retidas em cada peneira foram determinadas e o diâmetro médio das pipocas foi calculado.

### 3.2.7 Composição química dos grãos *in natura* e pipocados

A composição química dos grãos de amaranto crus e das pipocas de grãos congelados a 13,5 g/100g foi feita em amostras moídas em pulverizador com o rotor na velocidade de 12.000 rpm. Elas foram peneiradas em tamis de malha 0,420 mm, embaladas em saco de polietileno com 0,3 mm de espessura e armazenados a -18 °C até o momento da análise. O teor de umidade foi determinado pelo método n° 012/IV do Instituto Adolfo Lutz (2005). As análises de cinzas, lipídios e proteínas (N x 6,25) foram feitas realizadas de acordo com a metodologia da AOAC (1998), n° 92303, 920-39 e 960-52, respectivamente. Os carboidratos totais foram estimados por diferença, sendo subtraída de 100 a soma dos teores de umidade, cinzas, proteínas, lipídios. As fibras insolúveis e solúveis foram determinadas pelo método 32-07 da AACC (1999), utilizando as enzimas  $\alpha$ -amilase termorresistente, protease e amiloglicosidase (Sigma, Sigma-Aldrich, St Louis). A fibra total foi obtida pela soma das fibras insolúvel e solúvel. Foram feitas três repetições de cada análise.

Os dados obtidos foram avaliados por análise de variância, análise de correlação de Pearson e, para comparação de médias entre tratamentos, foi adotado o teste de Tukey a 1% de probabilidade, utilizando-se do aplicativo Minitab 13.1

(Minitab Inc., 2005). Para composição proximal foi aplicado o teste "t" para dados não pareados a 5% de probabilidade.

## 3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.2.1 Características físicas das pipocas

Os resultados do primeiro experimento permitem observar que não há diferenças na densidade, volume de expansão, rendimento das pipocas e percentagem de grãos não estourados entre os grãos com umidade de 11,5 g/100g, hidratados antes e após o congelamento (Tabela 3.1). Por outro lado, quando se comparam os grãos com 13,5 g/100g de umidade, verifica-se que aqueles que tiveram sua umidade ajustada antes do congelamento apresentaram maiores valores de DMP, VE e menores densidade e tempo de residência, em relação aos hidratados após congelamento. Estes resultados mostram que o congelamento afetou a capacidade de expansão dos grãos quando eles foram hidratados a 13,5 g/100g antes do congelamento, condição que possibilitou maior expansão dos grãos de amaranto.

A formação de cristais de gelo durante o congelamento pode provocar alterações nas estruturas internas dos grãos, membranas e paredes celulares (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2008). Os grãos de amaranto podem ter sofrido estas alterações de forma a promover o rápido aumento da pressão interna de vapor d'água, facilitando a expansão termoplástica do amido presente no perisperma, com produção de pipocas grandes e leves. A pressão de vapor d'água obtida no interior do grão durante o aquecimento depende, não somente da quantidade de água, ou umidade presente no grão, como também da resistência e integridade da casca. Portanto, o teor de umidade e a resistência e integridade da casca são fatores determinantes para a capacidade de expansão dos grãos ao pipocar.

A análise dos resultados mostra que o momento da hidratação é muito importante, pois os grãos hidratados após o congelamento para 11,5 g/100g e 13,5 g/100g não apresentaram diferenças no DMP, densidade, VE e tempo de residência. Neste caso, a quantidade de água presente nos grãos durante o congelamento era pequena e os cristais formados durante o congelamento podem não ter sido suficientes para romper estruturas internas do grão a ponto de favorecer o pipocamento. Por outro lado, as pipocas dos grãos congelados a 13,5 g/100g

apresentaram DMP, VE e rendimento superiores, mas densidade e GD inferiores aos dos grãos congelados a 11,5 g/100g. Estes resultados indicam que na umidade de 13,5 g/100g os cristais formados foram suficientes para causar modificações nas estruturas internas dos grãos e favorecer o pipocamento, em relação aos níveis de 9,5 e 11,5 g/100g de umidade.

Além disso, observa-se que para obter a mesma capacidade de expansão dos grãos hidratados a 11,5 g/100g, antes do congelamento, foi necessária uma maior quantidade de água (13,5 g/100g) nos grãos hidratados após o congelamento, reforçando a ideia de que a hidratação antes do congelamento favoreceu a expansão dos grãos de amaranto.

**Tabela 3.2** Principais características das pipocas de grãos de *Amaranthus cruentus* com diferentes teores de umidade antes e após congelamento<sup>1</sup>.

Fatores	Características					
	DMP (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	VE	Rendimento (%)	GD (%)	Tempo de residência (s)
Congelamento a 9,5 g/100g	1,49 ±0,024d	0,156 ±0,004a	5,4 ±0,109c	65,0 ±1,07c	23,7 ±1,20a	35,7±1,32a
Hidratação após cong. 11,5 g/100g	1,59 ±0,017c	0,134 ±0,003b	6,4 ±0,130b	75,7 ±1,16b	11,9 ±1,25b	35,0±1,12a
Hidratação antes cong. 11,5 g/100g	1,63 ±0,011b	0,131 ±0,002b	6,4 ±0,105b	75,4 ±1,36b	11,9 ±1,47b	31,8±1,39b
Hidratação após cong. 13,5 g/100g	1,62 ±0,018bc	0,131 ±0,004b	6,5 ±0,203b	78,0 ±0,94a	7,7 ±0,83c	37,1±2,67a
Hidratação antes cong. 13,5 g/100g	1,68 ±0,008a	0,125 ±0,002c	6,8 ±0,130a	78,3 ±0,92a	7,5 ±0,72c	31,8±1,56b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

cong. – congelamento; DMP - Diâmetro médio ponderado; VE - volume de expansão; e GD - grãos descartados.

O tempo de residência foi influenciado apenas pelo momento da hidratação dos grãos, sendo que os grãos hidratados antes do congelamento pipocaram mais rapidamente que aqueles hidratados após o congelamento. As alterações ocorridas nos grãos hidratados antes do congelamento não só produziram pipocas maiores e menos densas como também reduziram seu tempo de processamento. Já o rendimento e o GD, ao contrário, não foram afetados pelo momento da hidratação, mas foram afetados pelo teor de umidade do grão, de modo que na umidade de 13,5 g/100g, o rendimento foi maior e o GD foi menor em relação às umidades inferiores. Os grãos com 9,5g/100g de umidade foram os que apresentaram os menores valores de rendimento e maiores de GD.

A Tabela 3.2 apresenta os resultados do segundo experimento em que foram utilizados duas temperaturas de armazenamento e três diferentes níveis de umidades dos grãos de amaranto. As respostas de DMP, VE e rendimento foram crescentes com o acréscimo da umidade. Por outro lado, a densidade, o GD e o tempo

de residência foram decrescentes. Observa-se que quanto maior o teor de umidade melhora a qualidade das pipocas com maior capacidade de expansão, maior rendimento e menor tempo de residência. Lara e Ruales (2002) estudaram o pipocamento de *A. caudatus* com teores de umidade dos grãos entre 12 g/100g e 16 g/100g, e os melhores resultados de VE foram obtidos na umidade de 12 g/100g. Konishi et al. (2004), estudando *A. hypochondriacus*, mostraram que o VE das pipocas, em relação à umidade do grão, tem comportamento quadrático com valores de VE aumentando até um teor crítico de umidade em torno de 16 g/100g, depois se reduzindo até umidade de 30 g/100g.

Quando a umidade do grão é inferior à umidade ideal de pipocamento, segundo Konishi et al. (2004), a quantidade de vapor formada no interior do grão de amaranto é insuficiente para elevar a pressão a níveis adequados para um bom pipocamento, e os grãos acabam sendo queimados antes de o amido se expandir. Por outro lado, quando a quantidade de água é elevada necessita-se de muita energia para a evaporação da água do interior do grão, que termina por queimá-lo antes de pipocar. A diminuição do volume e do tamanho do floco de pipocas de milho, além do teor crítico de umidade, pode ser explicada, segundo Shimoni, Dirks e Labuza, (2002), pela ruptura do pericarpo em uma temperatura quando a pressão no interior do núcleo é baixa. Quando a umidade aumenta no grão para além do teor crítico, a temperatura de rompimento do pericarpo diminui, e a pressão no interior do grão, no momento do pipocamento, é menor, causando menor VE e redução do volume final da pipoca.

Os valores de densidade de pipocas de amaranto encontrados neste trabalho foram semelhantes aos apresentados por Tovar, Valdivia e Brito (1994), que relataram valores de densidade entre 0,1 g/cm<sup>3</sup> e 0,16 g/cm<sup>3</sup> para pipocas de amaranto produzidas por método ar quente ou chapa aquecida. No entanto, os valores obtidos são inferiores ao encontrados por Lara e Ruales (2002), média de 0,178 g/cm<sup>3</sup> em pipocas de *A. caudatus* produzidas por grãos com umidade 14 g/100g, usando método de ar quente. Gamel e Linssen (2008) encontraram densidades inferiores, cerca de 0,088 g/cm<sup>3</sup> a 0,1064 g/cm<sup>3</sup>, para pipocas de *A. caudatus*, usando o método de placa aquecida.

A literatura apresenta valores de VE bastante variados em função da umidade dos grãos, da técnica e da temperatura utilizada para pipocar. As melhores

expansões obtidas neste trabalho foram da ordem de 6,8 vezes, com umidade dos grãos em 13,5 g/100g (Tabela 3.2).

Em estudos com *A. caudatus* Lara e Ruales (2002) obtiveram VE de 5,1 para umidades de 12 g/100g, a uma temperatura de 240 °C, usando dispositivo de ar quente. Konishi et al. (2004) estudando *A. hypochondriacus* encontraram valores de VE entre 7 e 8,5 para, sendo os maiores valores obtidos na umidade de 16 g/100g. Zapotoczny et al. (2006) encontraram valores de VE da ordem de 3,96, utilizando para o cálculo a razão entre a área de projeção do grão cru e depois de pipocado para *Amaranthus* sp.

Os grãos armazenados a -18°C por 60 dias produziram pipocas maiores e mais leves do que os armazenados em temperatura ambiente ( $\pm 28$  °C), como mostram os valores de DMP, VE e densidade (Tabela 3.2). Estes resultados deixam evidente o efeito positivo do congelamento dos grãos no seu pipocamento, independentemente do conteúdo de umidade.

O rendimento foi maior e o GD foi menor para o armazenamento a temperatura ambiente, em relação aos grãos congelados. Um maior número de grãos armazenados à temperatura de  $\pm 28$  °C conseguiu pipocar, mas sua expansão foi menor, o que explica o fato de apresentarem densidades maiores e DMP e VE menores. Assim, a massa de pipocas retidas na peneira 1,19 mm foi maior, produzindo maior rendimento e menor descarte.

**Tabela 3.3** - Características das pipocas em função da umidade e da temperatura de armazenamento dos grãos de *A. cruentus*

Armazenamento	Umidade (g/100g)			Médias
	9,5	11,5	13,5	
DMP (mm)				
Ambiente	1,49 ±0,010Ac	1,58 ±0,023Bb	1,65 ±0,022Ba	1,57 ±0,070B
Congelado	1,48 ±0,020Ac	1,63 ±0,003Ab	1,68 ±0,013Aa	1,60 ±0,087A
Média	1,48 ±0,016c	1,61 ±0,031b	1,66 ±0,022a	
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )				
Ambiente	0,157 ±0,003Aa	0,137 ±0,003Ab	0,126 ±0,003Ac	0,139 ±0,013A
Congelado	0,157 ±0,004Aa	0,132 ±0,002Bb	0,125 ±0,002Ac	0,138 ±0,014B
Média	0,157 ±0,003a	0,134 ±0,004b	0,125 ±0,003c	
VE				
Ambiente	5,38 ±0,14	6,20 ±0,14	6,71 ±0,13	6,09 ±0,57B
Congelado	5,39 ±0,09	6,40 ±0,10	6,80 ±0,13	6,20 ±0,61A
Média	5,38 ±0,11c	6,29 ±0,16b	6,76 ±0,13a	
Rendimento (%)				
Ambiente	66,69 ±1,68	76,53 ±1,31	80,01 ±0,69	74,4 ±5,9A
Congelado	65,18 ±1,42	75,63 ±1,20	78,38 ±0,85	73,1 ±5,9B
Média	65,9 ±1,70c	76,1 ±1,30b	79,2 ±1,13a	
Tempo de Residência (s)				
Ambiente	37,22 ±2,49Aa	35,00 ±1,73Aa	31,56 ±1,94Ab	34,59 ±3,10A
Congelado	35,89 ±1,17Aa	32,00 ±1,22Bb	32,56 ±1,67Ab	33,48 ± 2,19A
Média	36,6 ±2,01a	33,5 ±2,12b	32,1 ±1,83b	
GD (%)				
Ambiente	21,70 ±1,81	10,82 ±1,28	6,41 ±1,37	12,98 ±6,71B
Congelado	24,03 ±1,45	11,59 ±1,24	7,50 ±0,69	14,37 ±7,25A
Média	22,87 ±1,00a	11,21 ±1,23b	6,96 ±1,19c	

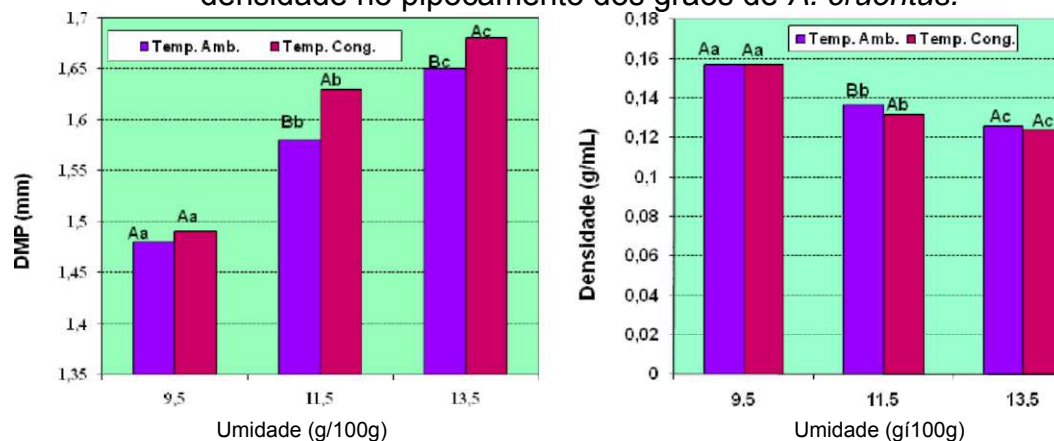
Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula na linha, para mesma variável, não diferem pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

DMP - Diâmetro médio ponderado; VE - volume de expansão; GD - grãos descartados.

Os tempos de residência para o pipocamento dos grãos de amaranto estão coerentes com os obtidos por Lara e Ruales (2002), que encontraram tempo de residência entre 13 s e 39 s para pipocar grãos de *A. caudatus* com fluxo de ar quente. Os autores alertam para o fato de este tempo aumentar com o aumento da carga, do

teor de água dos grãos e com a redução da temperatura e da velocidade do ar. O tempo de residência dos grãos neste experimento não sofreu influência da forma de armazenamento. No entanto, no primeiro experimento, ficou evidenciado que o momento da hidratação interfere no tempo de residência e que grãos hidratados antes do congelamento pipocam mais rapidamente que aqueles hidratados depois de descongelados.

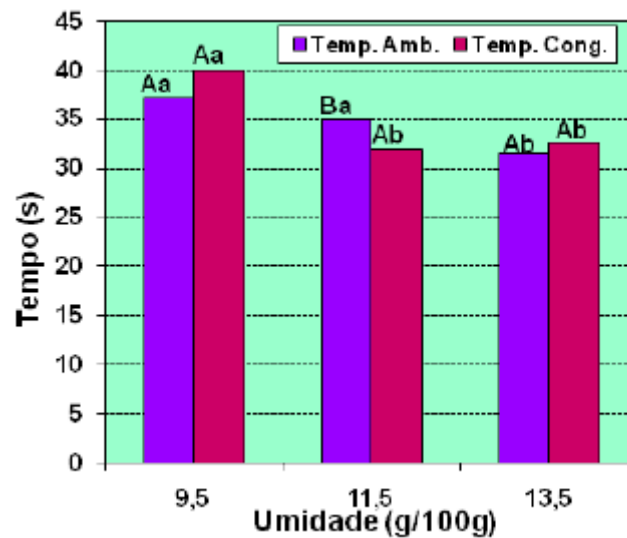
**Figura 3.2** - Interação temperatura de armazenamento *versus* umidade para DMP e densidade no pipocamento dos grãos de *A. cruentus*.



Valores seguidos de mesma letra maiúscula entre armazenamentos e mesma umidade, ou letra minúscula entre umidades e mesmo armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 1%.

A análise de variância para DMP, densidade e tempo de residência, revelou que há interação significativa entre temperatura de armazenamento e umidade dos grãos (Figuras 3.2 e 3.3). A análise da interação mostra que o congelamento apresentou efeito positivo sobre o DMP apenas nos dois maiores níveis de umidade em relação ao armazenado à temperatura ambiente. É possível constatar, ainda, que a densidade das pipocas e o tempo de residência foram influenciados pela forma de armazenamento, somente na umidade de 11,5 g/100g (Figura 3.3). O armazenamento sob congelamento dos grãos reduziu o tempo de pipocamento quando realizado em teores de umidade a partir de 11,5 g/100g. Por outro lado, no armazenamento em temperatura ambiente, só houve redução do tempo de residência para os grãos armazenados na umidade de 13,5 g/100g.

**Figura 3.3** - Interação da temperatura de armazenamento *versus* umidade dos grãos para tempo de residência no pipocamento dos grãos de *A. cruentus*.



Valores seguidos de mesma letra maiúscula entre armazenamentos e mesma umidade, ou letra minúscula entre umidades e mesmo armazenamento, não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 1%.

O DMP, a densidade e o VE foram utilizados para quantificar a capacidade de expansão dos grãos e apresentaram uma correlação significativa ( $p < 0,01$ ), sendo negativa para densidade *versus* DMP e VE e positiva para DMP *versus* VE (Tabela 3.3). Estes resultados levam a recomendar a densidade e o VE como indicadores para avaliação da qualidade de pipocas de amaranto por serem determinações rápidas e de baixo custo. De acordo com Gamel e Linssen (2008), o volume de expansão é um critério de qualidade muito importante do ponto de vista comercial porque os comerciantes adquirem os grãos com base no peso e vendem a pipoca com base no volume.

O tempo de residência apresentou correlação inversa entre DMP, VE, GD e rendimento, e correlação direta com a densidade, indicando que, quanto maior o tempo para pipocar os grãos, pior será a qualidade das pipocas pela sua expansão inadequada. O tempo de residência foi o atributo que apresentou os menores valores de correlação com os demais atributos, demonstrando que seu comportamento não segue a mesma tendência dos demais atributos estudados, como se observa nos resultados dos dois experimentos, em que o tempo gasto para o pipocamento não sofreu influência da forma de armazenamento.

**Tabela 3.4** - Correlação entre as características utilizadas na avaliação das pipocas de *A. cruentus*.

Características	DMP (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	VE	Rendimento (%)	Tempo de residência (s)
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	-0,97**	-	-	-	-
VE	0,97**	-1,00**	-	-	-
Rendimento (%)	0,92**	-0,94**	0,94**	-	-
Tempo de residência (s)	-0,74**	0,75**	-0,75**	-0,66**	-
GD (%)	-0,93**	0,96**	-0,95**	-0,98**	0,64**

DMP - diâmetro médio ponderado; VE - volume de expansão; GD - grãos descartados. \*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste de correlação de Pearson.

### 3.2.2 Composição química do grão *in natura* e das pipocas

A composição química dos grãos de *Amaranthus cruentus*, BRS Alegria, crus e das pipocas obtidas dos grãos armazenados com 13,5 g/100g de umidade e à temperatura de -18 °C, tratamento que obteve pipocas com maior expansão, resultou em valores diferentes para proteínas, lipídios e para fibras solúveis e insolúveis (Tabela 3.4). Os teores de lipídios encontrados nas pipocas foram superiores aos encontrados nos grãos crus. Nos grãos de amaranto, a matriz embrionária contém os lipídios nas formas livres ou complexadas, conforme Irving, Betschart e Saunders, (1981), o que pode tornar difícil sua extração pelo método utilizado (extração por Soxhlet). No entanto, as pipocas são obtidas por meio de aquecimento rápido a altas temperaturas (215 a 220 °C), o que pode liberar o lipídio complexado, tornando-o mais fácil de ser extraído pelo solvente (éter de petróleo). Desta forma, a maior quantidade de lipídios encontrada pode estar associada ao método de extração utilizado.

**Tabela 3.5** Composição química (g/100g) dos grãos *A. cruentus* congelados a 13,5 g/100g crus e pipocados<sup>1</sup>.

Grãos	Cinzas	Proteínas	Lipídios	Carboidratos	Fibras		
					Insolúvel	Solúvel	Total
Crus	2,14 ± 0,06a	15,27 ± 0,03a	6,43 ± 0,03b	76,16 ± 0,10a	8,27 ± 0,05a	1,27 ± 0,04b	9,54 ± 0,10a
Pipocados	2,20 ± 0,03a	14,49 ± 0,01b	7,54 ± 0,08a	75,77 ± 0,08b	7,47 ± 0,16b	1,98 ± 0,08a	9,45 ± 0,23a

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste "t", a 5% de probabilidade. Média dos dados calculados em base seca ± desvio padrão três repetições.

As reduções dos conteúdos de proteínas e de fibras insolúveis nas pipocas podem estar relacionadas às perdas de frações da casca do grão durante a expansão, pois, conforme Segura e Bressani (2002), a maioria das proteínas estão distribuídas no germe e na casca do grão e uma pequena parte se encontra no perisperma. O aumento das fibras solúveis provavelmente está associado às condições severas do tratamento térmico utilizado para a obtenção das pipocas de grãos de amaranto, pois, segundo Repo-Carrasco-Valencia et al. (2009), altas temperaturas podem quebrar as ligações das cadeias de polissacarídios da parede celular em partículas mais solúveis. As pipocas de amaranto, apesar das perdas de nutrientes ocorridas durante o processamento, podem ser consideradas uma fonte de proteína, lipídeos e fibra alimentar superior à dos demais cereais, sendo uma das formas mais simples e atrativas de consumo ou de introdução deste grão na alimentação de crianças e adultos.

### 3.3 CONCLUSÃO

O armazenamento sob congelamento em comparação com a temperatura ambiente favoreceu o pipocamento do grão de amaranto. O aumento da umidade dos grãos para 11,5 ou 13,5 g/100g, independente do momento da hidratação, propiciou o pipocamento. No entanto, na umidade de 13,5 g/100 as pipocas apresentaram expansão e rendimento superiores aos obtidos com grãos a 11,5 g/100g de umidade. Os grãos quando congelados com 13,5 g/100g de umidade produziram pipocas de melhor qualidade com menor tempo de residência. A produção de pipocas reduziu os teores de proteínas e fibras insolúveis e aumentou os teores de lipídios e fibras solúveis em comparação com os grãos *in natura*.

### 3.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC -. Approved Methods of Analysis, 11<sup>th</sup> ed. **Method 32-07.01. Soluble, Insoluble, and Total Dietary Fiber in Foods and Food Products**, St Paul, MN, USA, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of Analysis the AOAC International**. 16<sup>th</sup> ed. Arlington: AOAC, 1998. 1298p.

BELTON, P.S.; TAYLOR, J.R.N. **Pseudocereals and Less Common Cereals Grain: properties and utilization potential**. New York: Springer, 2002. p.219-260.

BERGHOFER, E.; SCHOENLECHNER, R. Grain Amaranth. In: BELTON, P.S.; TAYLOR, J.R.N. **Pseudocereals and Less Common Cereals Grain: properties and utilization potential**. New York: Springer, 2002. p.219-260.

BODROZA-SOLAROV, M.; FILIPCEV, B.; KEVRESAN, Z.; MANDIC, A.; SIMURINA, O. Quality of bread supplemented with popped *Amaranthus cruentus* grain. **Journal of Food Process Engineering**, v.31, p.602-618, 2008.

BRESSANI, R.; SANCHEZ-MARROQUIN, A.; MORALES, E. Chemical composition of grain amaranth cultivars and effects of processing on their nutrition quality. **Food Reviews International**, v.8, n.1, p.23-49, 1992.

CAPRILES, V. D.; COELHO, K. D.; MATIAS, A. C. G., ARÊAS, J. A. G. Efeito da adição de amaranto na composição e na aceitabilidade do biscoito tipo cookie e do pão de forma. **Alimentos e Nutrição**, v.17, n.13, p.269-274, 2006.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p.203-209, 2002.

COSTA, D. M.; BORGES, A. S. **Avaliação da produção agrícola do amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*)**. **Holos**, ano 21, p.97-111, 2005.

DELOST-LEWIS, K.; LORENZ, K.; TRIBELHORN, R. Puffing quality of experimental varieties of proso millets (*Panicum miliaceum*). **Cereal Chemistry**, v.69, n.4, p.359-362, 1992.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Fennema's food chemistry**. 4.ed., Boca Raton: CRC Press, 2008.

FERREIRA, T. A. P. C.; MATIAS, A. C. G.; ARÊAS, J. A. G. Características nutricionais e funcionais do amaranto (*Amaranthus* spp.). **Journal Brazilian Society Food Nutrition**, v.32, n.2, p.91-116, 2007.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P. H. Flavor compounds of popped amaranth seeds. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.32 p.656-668, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4 ed. Brasília: ANVISA, 2005. 1018p.

- IRVING, D. W.; BETSCHART, A. A.; SAUNDERS, R. M. Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. **Journal Food Science**, v.46, n.4, p.1170-1174, 1981.
- KONISHI, Y.; IYOTA, H.; YOSHID, K.; MORITANI, J.; INOUE, T.; NISHIMURA, N.; NOMURA, T. Effects of moisture content on the expansion volume of popped amaranth seeds by hot air and superheated steam using a fluidized bed system. **Bioscience Biotechnology Biochemistry**, v.68, n.10, p.2186-2189, 2004.
- LARA, N.; RÚALES, J. Popping of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*) and its effect on the functional, nutritional and sensory properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.82, p.797-805, 2002.
- MARCÍLIO, R.; AMAYA-FARFAN, J.; SILVA, M. A. A. P.; SPEHAR, C. R. Avaliação da farinha de amaranto na elaboração de biscoito sem glúten do tipo cookie. **Brazilian Journal Food Technology**, v.8, n.2, p.175-181, 2005.
- MENDONÇA, S.; SALDIVIA, P. H.; CRUZ, R. J.; ARÊAS, J. A. G. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effects. **Food Chemistry**, v.116, p.738-742, 2009.
- REPO-CARRASCO-VALENCIA, R.; PEÑA, J.; KALLIO, H.; SALMINEM, S. Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). **Journal of Cereal Science**, v.49, p.219-224, 2009.
- SHIMONI, E.; DIRKS, E. M.; LABUZA, T. P. The relation between final popped volume of popcorn and thermal-physical parameters. **Lebensmittel-Wissenschaft Und Technology**, v.35, p.93-98, 2002.
- SINGHAL, S. R.; KULKARNI, P. R. Puffing effects on functional properties of *Amaranthus paniculatus* (Rajgeera) seed flour. **Journal Food Science**, v.56, n.4, p.1121-1122, 1991.
- 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, n.2, p.167-171, 2002.
- SPEHAR, C. R.; TEIXEIRA, D. L.; CABEZAS, W. A.; ERASMO, E. A. L.. Amaranth BRS Alegria: alternativa para diversificar os sistemas de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.5, p.659-663, 2003.
- SPEHAR, C. R.; TEIXEIRA, D. L. **Caracterização Agronômica de Acessos em Três Espécies de Amarantho no Bioma Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 20p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento n° 131).
- TIKEKAR, R. V.; KARWE, M. V. Development of a continuous method for puffing amaranth (*Amaranthus spp.*) seeds. **Journal of Food Process Engineering**, v.32, p.265-277, 2009.
- TOSI, E.; RÉ, E. D.; MASCIARELLI, R.; CIAPPINI, M. Aplicación de la técnica de lecho fluidizado a la producción de rosetas de amaranto. **Alimentaria: revista de tecnologia e higiene de los alimentos**, n.269, p.45-47, 1996.
- TOVAR, L. R.; VALDIVIA, M. A.; BRITO, E. Popping amaranth, state of the art. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed). **Amaranth: biology, chemistry, and technology**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.143-154.
- ZAPOTOCZNY, P.; MARKOWSKI, M.; MAJEWSKA, K.; RATAJSKI, A.; KONOPKO, H. Effects of temperature on the physical, functional and mechanical characteristics of hot-air-puffet amaranth seeds. **Journal of Foods Engineering**, v.76, n.4, p.469-476, 2006.

## CAPITULO 4

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE FARINHAS INTEGRAIS DE GRÃOS DE *Amaranthus cruentus* L. TRATADOS TERMICAMENTE

**Resumo:** O emprego do calor é uma alternativa utilizada no consumo de grãos com a finalidade de não só garantir sua inocuidade, como também melhorar suas características sensoriais e aumentar sua digestibilidade. Os alimentos quando submetidos a condições severas de calor podem sofrer alterações em sua composição química. Neste trabalho, foram avaliadas as alterações na composição química de farinhas integrais de grãos de amaranto submetidos ao calor seco ou úmido, antes da moagem. Foram avaliados a composição proximal, os inibidores de tripsina, os minerais e aminoácidos das farinhas integrais de grãos *in natura* (FIAI), tostados (FIAT), cozidos por ebulição (FIAC) e pipocados (FIAP). A cocção por ebulição, a tostagem e o pipocamento não afetaram os teores de cinzas e fibras totais das farinhas, mas provocaram alterações nos teores de proteínas, lipídios, fibra insolúvel e solúvel. FIAT, FIAC e FIAP apresentaram maior teor de lipídios, fibra solúvel e menor de fibra insolúvel. Todos os tratamentos térmicos reduziram os inibidores de tripsina, mas não alteraram o conteúdo da maioria dos minerais, em comparação com a FIAI. A FIAP apresentou menor teor proteico e redução drástica da lisina em relação às demais farinhas. Os aminoácidos sulfurados foram os primeiros limitantes na FIAI para o período de 1 a 10 anos. O pipocamento reduziu a qualidade aminoacídica do grão, passando a ser limitante também em lisina para todas as fases da vida humana. Os tratamentos térmicos de tostagem e de cocção melhoram a qualidade proteica e aminoacídica comparada ao grão *in natura*.

**Palavras-chave:** Tratamento térmico. Composição proximal. Minerais. Aminoácidos.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A evolução da ciência tem revelado quão complexa são as exigências nutricionais do homem e que a alimentação precisa estar baseada em várias fontes alimentares para que se possa garantir o suprimento de todas as exigências nutricionais. A obtenção de alimentos e matérias-primas, para a produção de alimentos, que forneçam componentes nutricionais de forma equilibrada constitui um desafio para a ciência e a tecnologia. Segundo Colucci (2010), o Brasil apresenta graves e flagrantes problemas decorrentes da inadequação de consumo de alimentos: de um lado ocorre manutenção do quadro de morbimortalidade infantil caracterizado por doenças infectocontagiosas e desnutrição e de outro, aumento da prevalência de doenças crônicas não transmissíveis e da obesidade.

A diversidade relativamente pequena de grãos comestíveis disponíveis para a dieta humana remete à necessidade de introduzir outras espécies em sistemas comerciais e de produção. Uma boa opção de escolha poderia ser o amaranto, um pseudocereal que já teve um papel importante para civilizações passadas, sendo uma planta resistente às condições climáticas mais drásticas, além de ter uma alta capacidade de uso eficiente da água, podendo, assim, ser cultivado em diferentes regiões do Brasil (SPEHAR; TEIXEIRA, 2004).

A composição química das plantas e de suas sementes é determinada por fatores genéticos, mas algumas variações podem ocorrer em função das condições ambientais onde elas são cultivadas. No caso do amaranto, são conhecidas, conforme Mujica e Jacobsen (2003), mais de 87 espécies em todo o mundo, e várias foram domesticadas e utilizadas na produção de grãos para o consumo humano. Estas espécies apresentam composição química diferentes em seus grãos, determinada geneticamente. No entanto, quando a mesma espécie, como o *Amaranthus cruentus*, é cultivada em locais distintos, é de se esperar que ocorram algumas modificações na composição química de seus grãos, não determinadas pelas suas diferentes bagagens genéticas, mas ditadas pelas condições do ambiente nas quais o cultivo foi realizado. Estas variações são causadas pela diferente composição química do solo e sua fertilidade, pelas condições climáticas locais, como temperatura, luminosidade, pelas condições do cultivo e disponibilidade de água. Já existem vários estudos que mostram as variações na composição química dos grãos de *Amaranthus cruentus* cultivados em diferentes países (GONZALEZ et al., 2007; AMAYA-FARFAN; MARCÍLIO; SPEHAR, 2005; BRESSANI, 1994), resultados da combinação de fatores genéticos e ambientais.

O tipo de processamento utilizado antes do consumo do grão é outra possível causa de variações na composição química de produtos de amaranto citada na literatura. O tratamento térmico é uma alternativa utilizada para produtos de origem vegetal com a finalidade de não só garantir sua inocuidade, como também melhorar suas características sensoriais e aumentar sua digestibilidade. Por outro lado, submeter alimentos a condições severas de calor pode causar alterações na sua composição. Uma das formas mais práticas do consumo dos grãos de amaranto, além do grão, é a farinha, que pode ser empregada como ingrediente não só pelas indústrias, mas também para enriquecer a alimentação da população. No entanto, o tratamento térmico dado aos grãos de amaranto pode produzir variações na

composição química das farinhas elaboradas a partir destes grãos (CAPRILES et al., 2008; GAMEL et al., 2004). Assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as alterações na composição química de farinhas integrais de grãos de amaranto produzidos em Mato Grosso - Brasil, submetidos ao calor seco ou úmido antes da moagem.

## 4.2 MATERIAL E METODOS

### 4.2.1 Matéria-prima

Os grãos de *Amaranthus cruentus* L. utilizados foram da variedade BRS Alegria, provenientes do município de Sorriso-MT, Brasil. A área onde foi cultivado o amaranto se localiza nas coordenadas geográficas 12°52'30"S e 55°32'291" WGr e altitude de 375 m. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é do tipo AWI. A temperatura média anual é de 26°C, com médias em torno de 37°C no mês mais quente (outubro) e 15°C no mês mais frio (junho). A precipitação média anual está em torno de 2.233 mm, concentrada no período de outubro a março e a média da umidade relativa do ar é de 80%, mas de 22% no período entre junho e agosto. O semeio do amaranto foi realizado em março e a colheita em junho de 2008. O cultivo foi realizado de acordo com as recomendações de Spehar e Teixeira (2004).

Os grãos de amaranto foram padronizados em peneira 20 mesh, abertura de 0,85 mm, para remoção de grãos mal granados, e após a seleção foram embalados em sacos de polietileno de 0,3 mm de espessura e armazenados em ambiente seco, fresco e arejado.

### 4.2.2 Farinha integral de grãos de amaranto *in natura* (FIAI)

A farinha foi obtida pela trituração dos grãos padronizados *in natura* em moinhos de rotor (Fritsch/Alemanha), embalada em sacos de polietileno de 0,3 mm de espessura e armazenada sob refrigeração de 4°C a 8 °C.

#### 4.2.3 Farinha integral de grãos de amaranto cozidos (FIAC)

A cocção dos grãos foi realizada em recipiente de alumínio com tampa, utilizando três partes de água para cada parte de grãos, sem adição de óleo e temperos. O tempo de cozimento foi de aproximadamente 10 minutos, não restando água no final do processo. Após a cocção, os grãos foram secos a  $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 16 horas em estufa com circulação de ar, conforme Gamel et al. (2005). Os grãos cozidos e secos foram moídos em moinho de rotor (Fritsch/Alemanha), obtendo assim a farinha integral de amaranto cozido (FIAC). A farinha foi embalada em sacos de polietileno 0,3 mm de espessura e armazenada sob refrigeração de  $4^{\circ}\text{C}$  a  $8^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.2.4 Farinha integral de grãos de amaranto pipocados (FIAP)

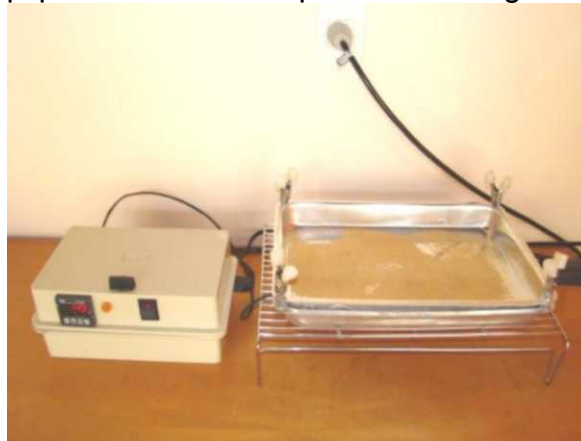
Para a produção de pipocas de grãos de amaranto foram previamente estabelecidas as condições de processamento: recipiente de alumínio tampado com 142 mm de altura, 160 mm de diâmetro, 2 mm de espessura e 4 litros de volume; temperatura de pipocamento entre  $215\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$  (monitorada por termômetro digital, sensor termopar tipo K e resolução de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); e tamanho da amostra fixada em 10 g por ciclo, sem adição de óleo e de temperos. O tempo de residência foi monitorado por um cronômetro, com resolução de centésimos de segundo, e compreendeu o intervalo de tempo entre a deposição dos grãos no recipiente aquecido a  $215\text{ }^{\circ}\text{C}$  e o término do pipocamento (quando não mais se ouvia barulho de explosão). Os grãos pipocados foram peneirados em tamis com malha 1,19 mm, e os que passaram foram descartados. Os grãos retidos na malha 1,19 mm foram triturados em moinho de rotor (Fritsch/Alemanha), obtendo assim a farinha integral de amaranto pipocado (FIAP). A farinha foi embalada em sacos de polietileno de 0,3 mm de espessura e armazenada sob refrigeração de  $4^{\circ}\text{C}$  a  $8^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.2.5 Farinha integral de grãos de amaranto tostados (FIAT)

Para tostar os grãos, foi utilizado um equipamento construído para este fim, composto por uma resistência elétrica de 1600 W e um controlador de temperatura, com sensor termopar tipo "J" (Figura 4.1). A resistência aqueceu uma chapa de alumínio, sobre a qual os grãos foram colocados para tostar, por um tempo

de, aproximadamente, um minuto, à temperatura de  $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Os grãos tostados foram triturados em moinhos de rotor (Fritsch/Alemanha), obtendo assim a farinha integral de amaranto tostado (FIAT). A farinha foi embalada em sacos de polietileno de 0,3 mm de espessura e armazenada sob refrigeração de  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Figura 4.1** Equipamento utilizado para tostar os grãos de amaranto.



#### 4.2.6 Composição proximal das farinhas integrais de amaranto

O teor de umidade foi determinado com base na metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2005), método n° 012/IV. As cinzas, lipídios e proteína ( $N \times 5,85$ ) foram determinados de acordo com a metodologia da AOAC (1998), n° 923-03, 920-39 e 960-52, respectivamente. As fibras insolúveis e solúveis foram determinadas pelo método 32-07 da AACC (1999), utilizando as enzimas  $\alpha$ -amilase termorresistente, protease e amiloglucosidase (Sigma, Sigma-Aldrich, St Louis). A fibra total foi obtida pela soma das fibras insolúvel e solúvel. Os carboidratos foram estimados por diferença, considerando-se os teores de umidades, cinzas, proteínas e lipídios. Foram feitas três repetições de cada análise.

#### 4.2.7 Minerais

A digestão e mineralização das farinhas de amaranto foram feitas usando solução de HCl 1M e banho Maria a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O potássio e o sódio foram determinados por fotometria de chama após diluição do extrato, ajustando-se a sensibilidade do aparelho com os padrões adequados. O fósforo, o cálcio, o zinco, o magnésio, o ferro, o cobre, o boro e o manganês foram determinados por

espectrometria de emissão atômica com indução de plasma (EEA - ICP simultâneo, Thermo Jarrell Ash, ICAP 61E) (SILVA, 1999; MIYAZAWA; PAVAN; BLOCH, 1992). Foram realizadas três determinações de cada elemento.

#### 4.2.8 Inibidores de tripsina

A determinação dos inibidores de tripsina foi feita conforme Gamel et al. (2006b), Hamerstrand, Black e Glover (1981) e Kakade, Simons e Liener (1969). A extração dos inibidores de tripsina das farinhas de amaranto foi feita com solução tampão fosfato de sódio 0,15 M em pH 8,1, com agitação por 12 horas em temperatura de 4 °C. Após centrifugação, uma alíquota do sobrenadante (extrato) foi adicionada a tubos com solução de tripsina a 0,04 M em tampão de glicina-HCl 0,025 M. Os tubos foram levados ao banho Maria a 37 °C, em que se adicionou solução de benzoil-DL-arginina-p-nitroanilina (BAPNA) a 0,001M, recentemente preparada, em tampão fosfato de sódio 0,15 M, pH 8,1,. Após 10 minutos no banho, foi usada solução de ácido acético a 30% para interromper a reação. Foi feita leitura a 410 nm em espectrofotômetro (Micronal, K 582). O tamanho da amostra/alíquota variou com a quantidade de inibidores de tripsina presente na farinha, de forma que as leituras caíssem na faixa de 40% a 60% de inibição do padrão tripsina. Foram realizadas quatro determinações de cada farinha. A equação adotada para calcular a quantidade de inibidores de tripsina presente na amostra foi:

$$Z = \frac{(AbsP - AbsA) \times VD}{Pa \times 0,019 \times alq \times 1000} \quad [4.1]$$

Em que:

**Z**= mg de tripsina inibida/g da amostra  
 (mgTI/g); **AbsP**= leitura em absorbância do padrão; **AbsA**= leitura em absorbância da amostra; **VD** = Volume de diluição em mililitros **Pa**= peso da amostra (g) utilizada na extração; **alq**=

alíquota do extrato em mililitros; e **0,019 e 1000** correspondem, respectivamente, às unidades de absorvância equivalentes à atividade de 1 ug de tripsina pura e fator de correção.

De acordo com a comissão de enzimas (EC) da União Internacional de Bioquímica (IUB), uma unidade de uma enzima - Unidade Internacional (U)- é a quantidade de enzima que catalisa a transformação de um micromol de substrato por minuto, nas condições padrão de temperatura, pH, concentração do substrato.

#### 4.2.9 Aminograma das farinhas de amaranto

Os aminoácidos foram determinados com base no procedimento adaptado dos métodos de White, Hart e Fry (1986) e Hagen, Frost e Augustin (1989), por HPLC com coluna de fase reversa. Na hidrólise do material foi utilizado uma solução de HCl 6 N/fenol por 24h a 110°C. Esse procedimento permitiu a recuperação da maioria dos aminoácidos, com exceção do triptofano, que foi completamente destruído. Aos aminoácidos liberados durante a hidrólise ácida foi adicionado o ácido a-aminobutírico como padrão interno. Após a eliminação do ácido por evaporação a vácuo, foi feita uma re-evaporação com solução de acetato de sódio, metanol e trietilamina. Após este procedimento, foi feita a derivatização do hidrolisado com solução de metanol, água ultrapura, trietilamina e fenilisotilcianato (PITC). A fase móvel consistiu dos eluentes A e B. Os eluentes com pH 6,60 continham acetato de sódio, acetonitrila, água ultrapura e EDTA dissódico. As áreas dos picos foram quantificadas em comparação com as de uma mistura padrão de aminoácidos e padrão interno a 254 nm.

O triptofano foi determinado usando o método enzimático-espectrofotométrico de Spies (1967). Após hidrólise enzimática das farinhas com pronase a 40 °C durante 22-24 horas, seguiram-se a reação colorimétrica com 4-dimetilaminobenzaldeído (DAB) em ácido sulfúrico 21,1N e a leitura em espectrofotômetro a 590 nm.

#### 4.2.10 Determinação de escore químico (EQ)

O EQ corresponde aos valores de aminoácidos essenciais encontrados na proteína-teste comparados com os padrões de aminoácidos estabelecidos pela WHO/FAO (2007) para humanos, em várias faixas etárias.

$$EQ = \frac{\text{mg do aminoácido em 1 g de proteína teste}}{\text{mg do aminoácido em 1g de proteína padrão}} \quad [4.2]$$

#### 4.2.11 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se do aplicativo Minitab 13.1 (Minitab Inc., 2005).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Composição proximal das farinhas

A farinha integral obtida de grãos *in natura* de *Amaranthus cruentus* apresenta quantidade de cinzas, proteínas, lipídios, fibras alimentares (Tabela 4.1) semelhantes aos encontrados na literatura como 2,1 a 4,0 % para cinzas, 14,0 a 16,6 % para proteínas, 6,80 a 8,77 % para lipídios e 8,83 a 14,80 % para fibras totais (CAPRILES et al., 2008; GAMEL et al., 2005, 2006a e 2006b; ESCUDERO et al., 2004; MARCÍLIO et al., 2003).

**Tabela 4.1** Composição proximal (g/100g) das farinhas de grãos *A. cruentus*<sup>1</sup>.

Farinhas	Cinzas	Proteínas <sup>2</sup>	Lipídios	Carboidratos <sup>3</sup>	Fibra Total <sup>4</sup>
FIAI	2,19 ± 0,09a	14,53 ± 0,03a	6,46 ± 0,10c	76,81 ± 0,17a	9,37 ± 0,14a
FIAC	2,09 ± 0,08a	14,62 ± 0,12a	7,62 ± 0,06a	75,67 ± 0,20c	9,13 ± 0,17a
FIAT	2,20 ± 0,04a	14,63 ± 0,06a	7,71 ± 0,05a	75,46 ± 0,09c	9,13 ± 0,07a
FIAP	2,21 ± 0,04a	14,36 ± 0,05b	7,26 ± 0,12b	76,17 ± 0,25b	9,17 ± 0,06a

<sup>1</sup>Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Média dos dados em base seca ± desvio padrão de três repetições. <sup>2</sup>Proteínas = N (%) x 5,85; <sup>3</sup>Carboidratos foram obtidos por diferença (100-cinzas-proteínas-lipídios). <sup>4</sup>Fibra total obtida pela somatória da fibra insolúvel e fibra solúvel.

FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FIAI- farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

As condições de processamento utilizadas, tipo de calor, temperatura e tempo, não influenciaram os conteúdos de cinzas e fibra total dos grãos de amaranto, mas provocaram alterações nas frações da fibra, proteínas, lipídios e carboidratos. Gamel et al. (2005, 2006a e 2006b) afirmaram que os tratamentos térmicos, pipocado e cozido, não afetaram o teor de fibra dietética, mas alteraram os conteúdos de lipídios, proteínas, cinzas do grão *in natura* de *A. cruentus*, reduzindo em 4 a 5% os teores de cinzas dos grãos tratados termicamente, 6 a 8% do teor de proteínas nos grãos cozidos e 2 a 4 % de lipídios nos grãos pipocados. Já, Capriles et al. (2008) não encontraram diferenças significativas entre os teores de cinzas, proteínas e fibras alimentares de grãos de *A. cruentus* pipocados, tostados e cozidos.

A fração proteica das farinhas foi susceptível ao tratamento térmico em condições necessárias para pipocar os grãos (FIAP), ocorrendo uma perda significativa de matéria proteica, em relação a FIAI. Esta redução pode estar relacionada às altas temperaturas empregadas no pipocamento, entre 215 °C e 220 °C, que provocaram desprendimento de fragmentos da casca e do germe, que possivelmente foram descartados na etapa de peneiramento em tamis de malha 1,19 mm. Segura e Bressani (2002) afirmaram que a maior concentração de proteínas, em torno de 65%, está distribuída no germe e na casca do grão e apenas 35% se encontra no perisperma.

O teor de lipídios encontrado nas farinhas de grãos tratados termicamente foram superiores ao encontrado na FIAI. Nos grãos de amaranto, conforme Irving; Betschart; Saunders (1981), a matriz embrionária contém lipídios na

forma livre ou complexada, o que pode dificultar sua extração. A extração por Soxhlet utilizando éter de petróleo (40-60 °C) não extraiu a fração lipídica da FIAI, no entanto, as altas temperaturas utilizadas para cozer, tostar e pipocar promoveram alterações dos componentes dos grãos facilitando a extração da fração lipídica.

O teor de carboidratos foi influenciado pela variação dos teores de proteínas e lipídios. Proporcionalmente, ocorreu uma redução no teor de carboidratos das farinhas de grãos tratados termicamente em relação à do grão *in natura*. A FIAC e a FIAT foram as farinhas que sofreram a maior redução, e embora esta redução tenha sido pequena, ela foi significativa em comparação com as demais farinhas.

Os tratamentos térmicos provocaram redução no conteúdo de fibras insolúveis e o aumento de fibras solúveis em relação a FIAI (Tabela 4.2), sendo que as técnicas de pipocar e tostar provocaram maior aumento da fração de fibra solúvel do que o cozimento. Segundo Repo-Carrasco-Valencia et al. (2009), altas temperaturas podem quebrar ligações glicosídicas das cadeias de polissacarídeos da parede celular em partículas mais solúveis, e Butt et al. (2008) verificaram que altas temperaturas podem degradar a fibra alimentar em fragmentos de baixo peso molecular ou até mesmo despolimerizar as estruturas lineares deste componente, alterando, assim, sua quantidade e, provavelmente, comprometendo seu comportamento.

Schnetzler e Breene (1994) observaram que as fibras de *A. cruentus* parecem ser mais susceptíveis às condições drásticas de processamento (extrusão), havendo redução da fração insolúvel e aumento da fração solúvel. A proporção entre as frações de fibras, insolúvel e solúvel, encontradas por estes pesquisadores, foi de 6:1 para o amaranto *in natura*, valor próximo ao encontrado neste trabalho para a FIAI, que foi de 6,4:1. A farinha que apresentou a menor relação entre fibras insolúveis e solúveis, de 4,3:1, foi a FIAT.

**Tabela 4.2** Fibras insolúveis e solúveis e inibidores de tripsina das farinhas de grãos *A. cruentus*<sup>1</sup>

Farinha	Fibras alimentares (g/100g)		Atividade inibitória de tripsina (mgTI/g)
	Insolúvel	Solúvel	
FIAI	8,10 ± 0,13a	1,27 ± 0,04c	2,67± 0,30a
FIAC	7,63 ± 0,19b	1,50 ± 0,02b	0,41± 0,02b
FIAT	7,41 ± 0,04b	1,72 ± 0,04a	0,42± 0,02b
FIAP	7,56 ± 0,08b	1,61 ± 0,05ab	0,15± 0,02c

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Média dos dados em base seca ± desvio padrão de três repetições. FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FIAI- farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

Todos os tratamentos térmicos utilizados reduziram a atividade de inibidores da tripsina (Tabela 4.2), sendo que o tratamento utilizado para pipocar diminuiu em 94 % a atividade do inibidor de tripsina. Gamel et al. (2006b) encontraram valores de 3,05 UTI/mg (1,61mg TI/g) para *A. cruentus in natura* e 0,42 e 0,36 UTI/mg (0,22 e 0,10 mg TI/g) para os grãos cozidos e pipocados, respectivamente. Segundo

Bejosano e Corke (1998), a atividade dos inibidores de tripsina parece ter uma considerável variabilidade entre os genótipos de amaranto, pois em vários genótipos de *A. cruentus* foram encontrados diferentes valores de atividade dos inibidores de tripsina, 1,49 a 1,98 UTI/mg (0,78 a 1,04 mg TI/g). O grão de amaranto possui uma quantidade baixa de inibidores de tripsina em comparação com outros grãos, como a soja, que, dependendo da variedade, pode apresentar de 122 a 160 UTI/mg (64,21 a 84,21 mg TI/g) (CARVALHO et al., 2002).

#### 4.3.2 Minerais

Os tratamentos térmicos utilizados não afetaram significativamente o conteúdo da maioria dos elementos de minerais das farinhas integrais de grãos de amaranto (Tabela 4.3).

**Tabela 4.3** Composição mineral das farinhas de grãos *Amaranthus cruentus*<sup>1</sup>.

Elementos	Farinhas			
	FIAI	FIAC	FIAP	FIAT
P (g/Kg)	3,97 ±0,04	4,15 ± 0,07	4,22 ±0,14	4,17 ±0,08
K (g/Kg)	4,67 ±0,58	5,00 ±0,00	5,33 ±0,06	5,00 ±0,00
Ca (g/Kg)	1,28 ±0,02B	1,28 ±0,00B	1,27 ±0,01B	1,32 ±0,03A
Mg (g/Kg)	1,91 ±0,01	2,00 ±0,01	2,00 ±0,05	1,99 ±0,06
Cu(mg/Kg)	2,97 ±0,15B	3,10 ±0,10B	3,43 ±0,06A	3,10 ±0,20B
Zn (mg/Kg)	28,93 ±1,05	29,17 ±0,55	29,10 ±0,66	29,23 ±0,35
Mn (mg/Kg)	18,50 ±0,10	18,87 ±0,06	18,37 ±0,67	18,93 ±0,32
Fe (mg/Kg)	75,13 ±2,79	74,70 ±2,20	78,16 ±1,67	77,46 ±1,69
Na (mg/Kg)	109,3 ±0,50	109,30 ±0,50	109,6 ±0,70	110,0 ±0,25

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FIAI- farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

O teor de cobre e cálcio foram os elementos que apresentaram níveis alterados, com um acréscimo do cobre na FIAP em comparação com a FIAI e aumento do cálcio na FIAT, em relação à FIAP. No caso do cobre, a alteração observada pode ter sido causada pelo processo de tamisamento das pipocas para eliminação dos grãos não pipocados, feita em tamis de liga de cobre, quando as pipocas ainda estavam quentes. Não há uma causa aparente para o aumento do cálcio na FIAP. De um modo geral, observa-se que, embora não seja significativa, há uma tendência de aumento dos minerais nas farinhas de grãos tratados termicamente em relação à FIAI. Estes resultados levam a crer que a aplicação do calor pode ter facilitado sua extração (HCl 1M, aquecido a 80 °C) durante o tratamento das amostras de farinhas para a análise de minerais.

O teor de minerais (cinzas) das espécies de amaranto é considerado maior que os encontrados em grãos convencionais, estando estes minerais mais concentrados (66%) no pericarpo e no germe do grão, o ferro e o cobre estão mais concentrados no germe, enquanto o cálcio, sódio e manganês estão no pericarpo (BETSCHART et al., 1981). Os valores de minerais encontrados nas farinhas de grãos de *A. cruentus in natura* foram inferiores aos encontrados por Ferreira, Guerra-Matias e Arêas (2007), Gamel et al. (2006a); Bressani (1994) e por Becker et al. (1981), no entanto, as farinhas estudadas ainda apresentam níveis de cálcio, magnésio, zinco e

ferro muito superiores aos encontrados em grãos de trigo (Ca = 0,348 g/Kg; Mg = 0,964 g/Kg; Zn = 12 mg/Kg; Fe = 33 mg/Kg), (ALVAREZ-JUBETE; ARENDT; GALLAGHER, 2009).

#### 4.3.3 Perfil aminoacídico das farinhas de amaranto

O perfil de aminoácidos que compõem as proteínas de farinhas integrais de amaranto in natura, cozido, tostado e pipocado podem ser visualizados na Tabela 4.4. A proteína das farinhas de grãos de amaranto é composta na sua maioria por aminoácidos não essenciais, destacando-se o ácido glutâmico presente em maior quantidade. Os tratamentos térmicos aplicados aos grãos in natura alteraram a proporção de aminoácidos das farinhas de amaranto produzidas.

**Tabela 4.4** - Perfil de aminoácidos das farinhas de grãos de *A. cruentus* e as recomendações de aminoácidos essenciais da WHO/FAO para diferentes faixas etárias.

Aminoácidos	Farinhas				Padrão WHO/FAO <sup>1</sup>			
	FAI	FIAC	FIAT	FIAP	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adulto (> 18 anos)
<b>Aminoácidos essenciais (mg/g de proteína)</b>								
Fenilalanina	45,5	45,4	47,2	47,4				
Tirosina	39,3	39,4	39,6	38,3				
Fenilalanina + Tirosina	84,7	84,8	86,8	85,7	46	41	41	38
Histidina	26,2	25,6	25,3	25,1	18	16	16	15
Isoleucina	48,9	48,7	50,6	48,1	31	31	30	30
Leucina	61,3	61,8	64,3	61,3	63	61	60	59
Lisina	58,3	59,2	54,7	36,9	52	48	48	45
Metionina	16,5	17,1	17,8	17,4				
Cisteína	7,6	7,9	8,2	7,0				
Metionina + cisteína	24,1	25,0	26,0	24,4	26	24	23	22
Treonina	52,3	49,3	49,2	52,9	27	25	25	23
Triptofano	20,0	18,4	19,1	19,5	7	7	7	6
Valina	46,1	46,7	47,2	46,0	42	40	40	39
<b>Sub Total</b>	<b>422,2</b>	<b>419,5</b>	<b>423,1</b>	<b>399,7</b>	<b>312</b>	<b>293</b>	<b>290</b>	<b>277</b>

**Aminoácidos não essenciais (mg/g de proteína)**

Alanina	39,3	39,4	39,6	40,4
Arginina	95,7	98,0	95,0	85,0
Ác. Aspártico	84,7	86,8	86,1	86,4
Ác. Glutâmico	170,8	174,2	170,9	175,5
Glicina	79,9	79,6	79,3	80,1
Prolina	40,6	41,4	41,0	41,1
Serina	60,6	61,8	62,2	59,9
<b>Sub Total</b>	<b>571,6</b>	<b>581,2</b>	<b>574,2</b>	<b>568,2</b>
<b>Total</b>	<b>993,8</b>	<b>1000,7</b>	<b>997,3</b>	<b>968,0</b>

<sup>1</sup> WHO/FAO – World health organization/ Food and agriculture organization (2007)

FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FIAI- farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

As quantidades totais dos aminoácidos essenciais encontradas nas diferentes farinhas foram, respectivamente, de 42,2 g/100g; 42 g/100g; 42,3 g/100g e 40 g/100g de proteína para FIAI, FIAC, FIAT e FIAP. Valor próximo de 47,59 g/100g de proteína foi encontrado por Drzewiecki et al. (2003), em estudo envolvendo grãos de diversas espécies de amaranto.

Os teores de aminoácidos sulfurados encontrados nas farinhas de amaranto variaram de 0,76 a 0,82 g.100g<sup>-1</sup> para cisteína e de 1,65 a 1,78 g.100g<sup>-1</sup> para metionina. Geralmente os teores de metionina e cisteína relatados na literatura, para os grãos de amaranto, são próximos, como os apresentados por Bécker et al. (1981) e Mendonça et al. (2009) que encontraram teores de 2,0 a 2,2 e 2,0 a 2,4 g/100 g dos aminoácidos metionina e cisteína, respectivamente. A diferença encontrada neste trabalho pode estar relacionada com o método, não específico, utilizado para quantificar estes aminoácidos, diferentemente do utilizado pelos autores citados.

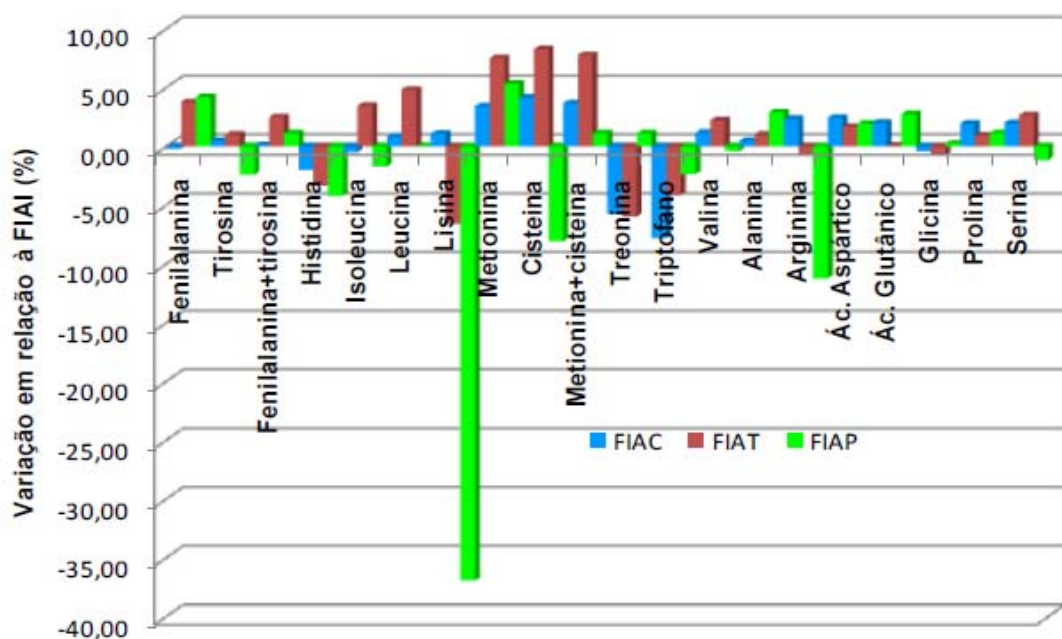
Por outro lado, há relatos de pesquisadores, citam-se Malavolta e Kliemann (1985), informando que aproximadamente 70% dos solos da região do cerrado apresentam baixo nível de enxofre disponível e que este fato é agravado pelo pequeno aporte deste nutriente nos adubos utilizados no semeio. Conforme a Roy et al. (2006), o enxofre participa de vários processos de desenvolvimento da planta tais como síntese de aminoácidos cisteína, cistina e metionina que são essenciais para a produção de proteínas, está envolvido na formação da clorofila e na ativação de enzimas; é também, uma parte das vitaminas biotina e tiamina (B1) e é necessário

para a formação das ligações sulfidrilas que são fontes de pungência em cebola e alhos, etc.

A Figura 4.1 apresenta a variação ocorrida nas quantidades de aminoácidos após os tratamentos térmicos aplicados aos grãos de amaranto. A farinha de grãos cozidos por ebulição (FIAC) apresentou, em relação à farinha de grãos *in natura* (FIAI), diferença negativa na proporção dos aminoácidos triptofano (8,0%), treonina (5,8%), histidina (2,0%) e isoleucina (1,0%), e diferença positiva, em média de 3,4 %, na proporção dos aminoácidos sulfurados.

A FIAT, por sua vez, apresentou maior diferença negativa na proporção de lisina (6,6%), treonina (6,0%), triptofano (4,2%) e histidina (3,4%), e diferença positiva na proporção de aminoácidos sulfurados (7,8%), leucina (4,8%), fenilalanina (3,8%), isoleucina (3,4 %) e valina (2,2 %), valores superiores aos encontrados para FIAC. A farinha de grãos pipocados (FIAP) foi a que teve maior alteração negativa em relação à FIAI, destacando-se a lisina (37,0%), cisteína (8,1%) e histidina (4,2%). As variações positivas ocorreram, principalmente, nas proporções de metionina (4,2%) e fenilalanina (3,0%). Entre os aminoácidos não essenciais, a arginina foi a que sofreu maior variação, sendo de 11,3% negativa.

**Figura 4.2** - Variação percentual dos aminoácidos encontrados nas farinhas de grãos de *A. cruentus* tratados termicamente, em relação à farinha de grãos *in natura*.



FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FIAI- farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

Tovar, Valdivia e Brito (1994) relataram que os aminoácidos lisina, arginina e cisteína dos grãos de *A. cruentus* foram os mais afetados pelo pipocamento, com perdas de 14,1 % de lisina, 4,4% de arginina e 7,1 % dos aminoácidos sulfurados em comparação aos grãos *in natura*. Gamel et al. (2004) relataram que o amaranto pipocado (*A. cruentus*) apresentou maiores perdas do aminoácido tirosina, cerca de 32,4 % de redução em relação ao *in natura*, seguido da fenilalanina (19,8%) e da metionina (18,5%).

Ao comparar as farinhas de amaranto com outros alimentos (Tabela 4.5) observa-se que os teores de histidina, lisina e treonina das FIAI, FIAT e FIAC podem ser equiparados ao do ovo, leite e da mistura 1:1 de arroz e feijão, em base proteica. O teor de triptofano encontrado para essas farinhas, no entanto, foi superior.

**Tabela 4.5** - Aminoácidos essenciais (mg/g de proteína) presentes nas farinhas de *A. cruentus*, ovo, leite fluido e mistura 1:1 de arroz e feijão.

Aminoácidos essenciais	Farinhas				Alimentos*		
	FIAI	FIAC	FIAT	FIAP	Ovos	Leite	Arroz/Feijão
Fenilalanina + Tirosina	84,7	84,8	86,8	85,7	98,7	104,8	79,0
Histidina	26,2	25,6	25,3	25,1	24,3	30,3	26,4
Isoleucina	48,9	48,7	50,6	48,1	62,7	60,9	41,9
Leucina	61,3	61,8	64,3	61,3	88,0	106,6	79,2
Lisina	58,3	59,2	54,7	36,9	69,6	68,3	54,1
Metionina + cisteína	24,1	25,0	26,0	24,4	57,8	29,1	27,8
Treonina	52,3	49,3	49,2	52,9	51,1	42,3	36,4
Triptofano	20,0	18,4	19,1	19,5	14,8	14,4	11,8
Valina	46,1	46,7	47,2	46,0	68,3	70,3	51,8

\* Fonte: Food and Agriculture Organization (1970). Teor de proteína (g/100g): ovos (12,4), Leite fluido (3,5). Valores estimados considerando a mistura 1:1 (arroz:feijão) em base protéica. FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FIAI - farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

A WHO/FAO definiu padrões de referência para o requerimento de aminoácidos essenciais para as diversas faixas etárias do ser humano (Tabela 4.4). Quando um ou mais destes aminoácidos aparecem na proteína, em quantidades inferiores às requeridas para a síntese proteica pelo homem, são considerados limitantes. O aminoácido limitante afeta o valor nutritivo da proteína, prejudicando o crescimento, reparação, funcionamento e estrutura de todas as células vivas. A síntese de uma proteína requer que todos os aminoácidos necessários nesse processo estejam disponíveis ao mesmo tempo e que as necessidades energéticas do organismo sejam supridas.

**Tabela 4.6 - Escores químicos das farinhas integrais de grãos de *A. cruentus*.**

Aminoácidos essenciais	FAI				FIAC				FIAT				FIAP			
	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adultos (> 18 anos)	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adultos (> 18 anos)	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adultos (> 18 anos)	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adultos (> 18 anos)
Fenilalanina +tirosina	1,84	2,07	2,07	2,23	1,84	2,07	2,07	2,23	1,89	2,12	2,12	2,28	1,86	2,09	2,09	2,25
Histidina	1,45	1,64	1,64	1,74	1,42	1,60	1,60	1,71	1,41	1,58	1,58	1,69	1,39	1,57	1,57	1,67
Isoleucina	1,58	1,58	1,63	1,63	1,57	1,57	1,62	1,62	1,63	1,63	1,69	1,69	1,55	1,55	1,60	1,60
Leucina	0,97	1,01	1,02	1,04	0,98	1,01	1,03	1,05	1,02	1,05	1,07	1,09	0,97	1,00	1,02	1,04
Lisina	1,13	1,22	1,22	1,30	1,14	1,23	1,23	1,31	1,05	1,14	1,14	1,22	0,71*	0,77*	0,77*	0,82*
Metionina +cisteína	0,93*	1,00*	1,05	1,10	0,96*	1,04	1,09	1,14	1,00*	1,08	1,13	1,18	0,94	1,02	1,06	1,11
Treonina	1,94	2,09	2,09	2,28	1,83	1,97	1,97	2,14	1,82	1,97	1,97	2,14	1,96	2,12	2,12	2,30
Triptofano	2,85	2,85	2,85	3,33	2,63	2,63	2,63	3,07	2,73	2,73	2,73	3,19	2,79	2,79	2,79	3,25
Valina	1,10	1,15	1,15	1,18	1,11	1,17	1,17	1,20	1,12	1,18	1,18	1,21	1,09	1,15	1,15	1,18

\*primeiro aminoácido limitante das farinhas de amaranto em relação às recomendações da WHO/FAO (2007) por faixa etária.

FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FAI- farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

Os teores de aminoácidos essenciais encontrados nas farinhas foram comparados aos padrões estabelecidos pelo WHO/FAO (2007) para faixas etárias de 1-2 anos, de 3-10 anos, de 11-14 anos e maiores de 18 anos e calculados os escores químicos de aminoácidos (Tabela 4.6). Os valores de escore químico maior que 1,0 para todos os aminoácidos essenciais indicam que a proteína é de alto valor nutricional, e o aminoácido que apresentar o menor valor de escore químico abaixo de 1,0 é considerado o "primeiro aminoácido limitante". As farinhas de grãos cozidos ou tostados não apresentaram aminoácidos limitantes para faixas etárias superiores a 3

anos, e a farinha de grãos pipocados é a única que apresenta a lisina como aminoácido limitante para todas as faixas etárias.

Na farinha de grãos *in natura*, os aminoácidos sulfurados, com escore químico de 93% a 100%, foram os primeiros limitantes, seguidos da leucina (escore de 97% a 100%) para a faixa etária de 1 a 10 anos. Há, ainda, controvérsias sobre o primeiro aminoácido limitante do *A. cruentus*, uma vez que Bejosano e Corke (1998) e Bressani e Garcia-Vela (1990), estudando vários genótipos de *Amaranthus cruentus*, verificaram que todos apresentaram alto conteúdo de lisina e aminoácidos sulfurados, sendo a leucina o primeiro aminoácido limitante. Já Escudero et al. (2004) demonstraram que a treonina é o primeiro aminoácido limitante para farinha de *A. cruentus*, seguido da leucina e valina (escore respectivo de 0,7; 0,87 e 0,9). Gamel et al. (2004) encontraram para *A. cruentus* a leucina como primeiro limitante seguido da lisina.

A faixa etária de 1-2 anos é a que exige maior demanda de aminoácidos essenciais para o adequado crescimento e desenvolvimento do indivíduo. A comparação da demanda de aminoácidos, para esta faixa etária, com suas disponibilidades nas farinhas, mostra que os aminoácidos sulfurados aparecem como primeiro limitante na FIAI, FIAC e FIAT. A leucina aparece como segundo limitante nas duas primeiras farinhas. A lisina vem como primeiro limitante na FIAP, que apresenta, ainda, como limitantes, os aminoácidos sulfurados e a leucina. Os aminoácidos sulfurados e a leucina continuam sendo limitantes na FIAI para a faixa etária de 3-10 anos. Na FIAP, os sulfurados deixam de ser limitantes, mas a lisina e a leucina continuam sendo limitantes.

A cocção por calor úmido e a tostagem melhoraram o balanço aminoacídico da proteína do grão de amaranto, uma vez que os aminoácidos sulfurados e a leucina deixaram de ser limitantes na FIAC e FIAT, em relação à farinha de grãos *in natura*, para crianças na faixa de 3 a 10 anos. O pipocamento dos grãos, no entanto, afetou drasticamente o quantitativo de aminoácido lisina do grão *in natura*, passando a ser na FIAP limitante para todas as faixas etárias.

O alto valor proteico do amaranto reside no balanço aminoacídico com elevada concentração de aminoácidos essenciais, especialmente lisina e triptofano, que é um aminoácido limitante na maioria das proteínas provenientes de cereais (BECKER et al. 1981; BRESSANI; ELIAS; GARCIA-SOTO, 1989; BREENE, 1991), bem como a treonina, o triptofano e a metionina, cujas concentrações são

superiores às encontradas no grão de soja, que segundo Vieira, Cabral e Paula (1999) a proteína do grão de soja destinado a alimentação humana possuem 38 mg/g, 15 mg/g, 13 mg/g de treonina, triptofano e metionina, respectivamente.

#### 4.4 CONCLUSÃO

Os métodos utilizados para cozinhar e tostar os grãos de amaranto não provocaram alterações nos teores de cinzas, de proteínas e de fibras alimentares, mas modificaram a quantidade de aminoácidos melhorando o balanço aminoácido das farinhas em comparação com a de grãos *in natura*. Por outro lado, a técnica adotada para pipocar os grãos causou perdas de proteínas e de aminoácidos, principalmente a lisina, prejudicando a qualidade desta farinha.

Dentre as farinhas produzidas destaca-se a FIAT não só pela técnica mais simples e rápida que a utilizada para produzir a FIAC, como também por produzir farinha com teores de proteína, lipídio e perfil aminoacídico iguais a FIAC e superiores a FIAI e FIAP. Ambas, FIAT e FIAC apresentam balanço de aminoácidos adequado em relação ao padrão WHO/FAO para indivíduos com idade igual ou superior a 3 anos. A FIAP, apesar das perdas de nutrientes ocorridas durante o processamento, pode ser considerada uma boa fonte de nutrientes.

#### 4.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. **International Journal of Food Science and Nutrition**. v. 60 n. S4, p. 240-257, 2009.

AMAYA-FARFAN, A.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. A proposta do amaranto. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v.12, n.1, p.47-56, 2005.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTIS - AACC -. Approved Methods of Analysis, 11<sup>th</sup> ed. **Method 32-07.01. Soluble, Insoluble, and Total Dietary Fiber in Foods and Food Products**, St Paul, MN, USA, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC) -Horwitz W. (Ed). **Official Methods of Analysis the Association of Chemistry**. 16<sup>th</sup> Edition. Arlington, AOAC Inc., Washington, D.C., 1298p., março, 1999.

BECKER, R.; WHEELER, E. L.; LORENZ, K.; STAFFORD, A. E.; GROSJEAN, O. K.;BETSCHART, A. A.; SAUNDERS, R. M. A composition study of amaranth grain. **Journal. Food Science**. Chicago, v. 46, n. 4, p. 1175-1180, 1981.

- BEJOSANO, F. P.; CORKE, H. Protein quality evolution of amaranthus wholemeal flours and protein concentrates. **Journal. Science Food Agriculture.**, United Kingdon, v.76, n.1, p.100-106, 1998.
- BETSCHART, A. A.; IRVING, D. W.; SHEPHERD, A. D.; SAUNDERS, R. M. *Amaranthus cruentus*: milling characteristics, distribution of nutrients within seeds components and the effects temperature on nutritional quality. **Journal Food Science**, Chicago, v.46, n. 4, p.1181-1187, 1981.
- BREENE, W. M. Food uses of amaranth grain. **Cereal Food Word**, St. Paul, v.36, n.5, p.426-430, 1991
- BRESSANI, R.; ELIAS, C.G.; GARCIA-SOTO, A. Limiting amino acids in raw and processed amaranth grain protein from biological test. **Plants Foods for Human Nutrition**, Netherlands, v.39, n.3, p.223-234, 1989.
- BRESSANI, R.; GARCIA-VELA, L. A. Protein fractions in amaranth grain and their chemical characterization. **Journal of Agricultural and food Chemistry**, v. 38, n. 5,p. 1205-1209, 1990.
- BRESSANI, R. Composition and nutritional properties of amaranth. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed). **Amaranth: biology, chemistry, and technology**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.185-1205.
- BUTT, M.S.; TAHIR-NADEEM, M.; KHAN, M.K.I.; SHABI, R.; BUTT, M.S. Oat:unique among the cereals. **European Journal of Nutrition**, Darmstadt, v.47, n.2, p.68-79, 2008.
- CAPRILES, V. D.; COELHO, K. D.; MATIAS, A. C. G., ARÊAS, J. A. G. Effects of processing methods on amaranth starch digestibility and predicted glycemic index. **Journal of Food Science**, v.73, n.7, p. H161-H164, 2008.
- CARVALHO, M. R. B.; KIRSCHNIK, P. G.; PAIVA, K. C.; AIURA, F. S. Avaliação da atividade dos inibidores de tripsina após digestão enzimática em grãos de soja tratados termicamente. **Revista de Nutrição**, v. 15, n. 3, p. 267-272, 2002.
- COLUCCI, A. C. A. Consumo alimentar da população brasileira: evolução nos últimos anos. **Science & Nutrition**, v. 4, p. 1-20, 2010.
- DRZEWIECKI, J.; DELGADO-LICON, E.; HARUENKIT, R.; PAWELZIK, E.; MARTIN-BELLOSO, O.; PARK, Y.; JUNG, S.; TRAKHTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. Identification and differences of total proteins and their soluble fractions in some pseudocereals based on electrophoretic patterns. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 7798-7804, 2003.
- ESCUADERO, N. L.; ARELLANO, M. L.; LUCO, J. M.; GIMÉNEZ, M. S.; MUCCIARELLI, S. I. Comparison of the chemical composition and nutritioal value of *Amaranthus cruentus* flour and its protein concentrate. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 59, p. 15-21, 2004.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Amino acid content of foods and biological data on proteins**. Rome: Food andAgriculture Organization of the United Nations, 1970 (FAO Nutritional Studies,No. 24).
- FERREIRA, T. A. P. C.; GUERRA-MATIAS, A. C.; AREAS, J. A. G. Características nutricionais e funcionais do amaranto (*Amaranthus spp.*). **Journal Brazilian Society Food Nutrition**, v.32, n.2, p.91-116, 2007.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Nutritional study of raw and popped seed protein of *Amaranthus caudatus* L and *Amaranthus cruentus* L. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 1153-1158, 2004.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: starch and protein. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 319327, 2005.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: oil, sugars, fibres, minerals and vitamins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 82-89, 2006a.

GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Seed treatments affect functional and antinutritional properties of amaranth flours. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 1095-1102, 2006b.

GONZALEZ, R.; CARRARA, C.; TOSI, E.; ANON, M. C.; PILOSO, A. Amaranth starch-rich fraction properties modified by extrusion and fluidized bed heating. **LWT**, v. 40, p. 136-143, 2007.

HAMERSTRAND, G. E.; BLACK, L. T.; GLOVER, J. D. Trypsin inhibitors in soy products: modification of the standard analytical procedure. **Cereal Chemistry**, v. 58, n. 1, p. 42-45, 1981.

HAGEN, S. R.; FROST, B.; AUGUSTIN, J. Pre-column Phenylisothiocyanate derivatization and Liquid-Chromatography of Aminoacids in Food. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 72, n. 6, p. 912-916, Nov.-Dec., 1989.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo - Brasil). **Métodos Físico-químicos para Análise de Alimentos**: normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 4<sup>a</sup> ed. Brasília (DF): ANVISA; 2005.

IRVING, D. W.; BETSCHART, A. A.; SAUNDERS, R. M. Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. **Journal of Food Science**, Chicago, v.46, n.4, p. 1170-1174, 1981

KAKADE, M. L.; SIMONS, N.; LIENER, I. E. An evaluation of natural vs. synthetic substrates for measuring the antitryptic activity of soybean sample. **Cereal Chemistry**, v. 46, p. 518-526, 1969.

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais nos cerrados**. Piracicaba, POTAFOS, 1985. 136p.

MARCILIO, R.; AMAYA-FARFAN, J.; CIACCO, C. F.; SPEHAR, C. R. Fracionamento do grão de *Amaranthus cruentus* brasileiro por moagem e suas características composicionais. **Ciência. Tecnologia. Alimentos**. Campinas, v.23, n.3, p.511-516, set-dez., 2003.

MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H.; CRUZ, R. J.; AREAS, J. A. G. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effects. **Food Chemistry**. v. 116, p. 738-742, 2009.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. M. **Análise química de tecido vegetal**, Londrina, IAPAR, 1992, 17p, (circular 74).

MUJICA, A.; JACOBSEN, S. E. The genetic resources of Andean grain amaranths (*Amaranthus caudatus* L., *A. cruentus* L. and *A. hypochondriacus* L.) in America. **Plant Genetic Resources Newsletter**, .n.133, p. 41-44, 2003.

([http://www2.bioversityinternational.org/publications/pgnewsletter/article.asp?id=102&id\\_issue=133](http://www2.bioversityinternational.org/publications/pgnewsletter/article.asp?id=102&id_issue=133)). Acesso em 06/2011.

- REPO-CARRASCO-VALENCIA, R.; PEÑA, J.; KALLIO, H.; SALMINEM, S. Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). **Journal of Cereal Science**, v.49, p.219-224, 2009.
- ROY, R. N.; FINCK, A.; BLAIR, G. J.; TANDON, H. L. S. **Plant nutrition for food security: a guide for integrated nutrient management**. Fertilizer and plant nutrition, bulletin n° 16, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2006.
- SCHNETZLER, K. A.; BREENE, W. M. Food uses and amaranth products research: A comprehensive review. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed). **Amaranth: biology, chemistry, and technology**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.155-184.
- 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, n.2, p.167-171, 2002.
- SILVA, F. C. **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. EMBRAPA-Solos, 1999.
- SPIES, J. R. Determination of tryptophan in proteins. **Analytical Chemists**, v.39, p.1412-1415, 1967.
- SPEHAR, C. R.; TEIXEIRA, D. L. **Caracterização Agronômica de Acessos em Três Espécies de Amarantho no Bioma Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 20p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento n° 131).
- TOVAR, L. R.; VALDIVIA, M. A.; BRITO, E. Popping amaranth, state of the art. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed). **Amaranth: biology, chemistry, and technology**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.143-154.
- VIEIRA, C. R.; CABRAL, L. C.; PAULA, A. C. O. Composição centesimal e conteúdo de aminoácidos, ácidos graxos e minerais de seis cultivares de soja destinadas à alimentação humana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 7, p. 1277-1283, 1999.
- WHITE, J. A.; HART, R. J.; FRY, J. C. An evaluation of the waters Pico-Tag System for the aminoacids analysis of food materials. **Journal of Automatic Chemistry**, v.8, n.4, p. 170-177, Oct-Dec., 1986.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Protein and amino acid requeriments in human nutrition**. Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Genebra, OMS, 2007. 284p. (WHO technical report series n. 935).

## CAPITULO 5

### AVALIAÇÃO BIOLÓGICA DA PROTEÍNA E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS INTEGRAIS DE *Amaranthus cruentus* L TRATADOS TERMICAMENTE

**Resumo:** Avaliou-se a qualidade biológica das proteínas das farinhas de grãos de amaranto *in natura* (FIAI), cozidos (FIAC), tostados (FIAT) e pipocados (FIAP) e os efeitos dos tratamentos térmicos nos índices de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) das farinhas. Os valores da razão proteica líquida (RPL) e da utilização proteica líquida (UPL) das rações à base de FIAC e FIAT indicam que as proteínas são de boa qualidade, atingindo níveis de 97,3 % e 88,3 %, respectivamente, em relação à caseína, e superiores às rações à base de FIAI e FIAP, que atingiram apenas 53,6% e 54,5% da caseína. A digestibilidade proteica das rações à base de FIAI, FIAC e FIAT foi inferior à padrão, mas não foram diferentes entre si, mostrando que o cozimento e a tostagem dos grãos não modificou a digestibilidade da proteína. O coeficiente de eficácia proteica (CEP) das farinhas integrais cozidas e tostadas (3,74 e 3,38) foi superior ao da FIAP (1,52), indicando que as altas temperaturas empregadas no pipocamento danificaram as proteínas, prejudicando a sua utilização pelos animais. Pode-se observar que a maior perda foi de lisina, pois os menores valores de escore aminoacídico corrigido pela digestibilidade proteica (PDCAAS) foram encontrados para este aminoácido (54% a 62%) em todas as faixas etárias na FIAP, revelando que as condições severas de pipocamento não só provocaram perda de aminoácidos, mas também, reduziram digestibilidade proteica. No entanto, os valores de PDCAAS encontrados para a FIAP estão, ainda, acima dos descritos na literatura para lisina na farinha de milho (37%) e na de trigo (40%), bem como dos aminoácidos sulfurados (63% para o feijão e 54% para soja). Os tratamentos térmicos elevaram os índices de absorção de água, enquanto os de absorção de óleo foram maiores para a FIAP e menores nas FIAT e FIAC, em relação à FIAI.

**Palavras-chave:** Qualidade biológica proteica. PDCAAS. Índice de absorção de água. Índice de absorção de óleo.

#### 5.1 INTRODUÇÃO

A classificação da qualidade biológica da proteína de um alimento depende principalmente da capacidade desta proteína em suprir a necessidade do organismo humano de todos os aminoácidos essenciais. O suprimento das necessidades mínimas de aminoácidos, visando a obter a proporção adequada, é obtido em diferentes fontes alimentares que possuem quantidades variáveis destes aminoácidos. As fontes proteicas, baseadas no conhecimento de sua composição aminoacídica, podem ser classificadas de alto valor biológico/proteínas completas, que são aquelas que contêm todos os aminoácidos essenciais em quantidades e proporções ideais para atender às necessidades orgânicas ou proteína de baixo valor

biológico/proteína incompleta, aquela que não possui um ou mais aminoácidos essenciais em quantidades suficientes (SGARBIERI, 1996).

Os alimentos proteicos de alto valor biológico são essencialmente de origem animal, enquanto a maioria das proteínas vegetais é incompleta em termos de conteúdo aminoacídico e, portanto, possui qualidade biológica relativamente menor. As leguminosas são pobres em aminoácidos sulfurados, como a metionina e os cereais são deficientes em lisina e triptofano o que exige a combinação de cereais com leguminosas, a denominada complementaridade proteica, para que se consiga melhorar a qualidade proteica da dieta. As características nutricionais do amaranto são consideradas excepcionais para a nutrição humana, pois ao contrário dos cereais e leguminosas, sua proteína apresenta um alto valor biológico devido aos seus altos níveis de lisina e metionina e por apresentar baixos teores ou ausência de fatores antinutricionais ou toxigênicos, sendo considerada uma combinação natural de leguminosa com cereal (AMAYA-FARFAN; MARCÍLIO; SPEHAR, 2005).

A avaliação do alimento deve ser feita de forma que se possa quantificar o que realmente o organismo consegue absorver. Assim, conforme Sgarbieri (1996), a porção disponível de qualquer nutriente é aquela que efetivamente é absorvida em uma forma que possa ser utilizada pelo organismo em seu metabolismo celular. Neste sentido, o ensaio biológico com animais é um método eficaz para avaliar a qualidade proteica dos alimentos, pois mostra bons resultados, sobretudo com ratos, que têm a capacidade de digerir proteínas de forma semelhante ao homem. Entre os parâmetros biológicos existentes para avaliar a qualidade da proteína, temos a razão proteica líquida (RPL), o coeficiente de eficácia proteica (CEP), a utilização líquida da proteína (ULP) e a digestibilidade verdadeira da proteína (Dv) e também o escore químico aminoacídico corrigido pela digestibilidade proteica (PDCAAS).

O tratamento térmico é aplicado nos produtos de origem vegetal para garantir sua inocuidade, como também melhorar suas características sensoriais e aumentar sua digestibilidade. No entanto, a ação do calor sobre os alimentos durante o tratamento térmico, pode provocar perdas irreversíveis de alguns nutrientes como aminoácidos e proteínas, além de ocasionar alterações nas propriedades tecnológicas das matérias-primas utilizadas na indústria de alimentos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tratamento dos grãos com calor seco ou

úmido, antes da moagem, no valor biológico da proteína, bem como no índice de absorção de água e óleo de farinhas integrais de amaranto.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

As farinhas de grãos de amaranto *in natura* (FIAI), cozidos (FIAC), tostados (FIAT) e pipocados (FIAP) foram obtidas pelos processos descritos no Capítulo 4.

### 5.2.1 Ensaio biológico

O ensaio biológico foi realizado em duas etapas com 48 ratos machos, recém-desmamados, albinos, da linhagem Wistar (*Rattus norvegicus*), com idades entre 23 e 25 dias, fornecidos pelo Biotério Central da Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT. O experimento foi conduzido no Laboratório de Avaliação Biológica de Alimentos da Faculdade de Nutrição/UFMT. Os animais foram mantidos em gaiolas metabólicas individuais, sob condição padronizada de iluminação (ciclo claro/escuro de 12 horas), temperatura de  $22 \pm 2$  °C e umidade relativa de  $55 \pm 10$  %. Durante o transcorrer do ensaio os ratos tiveram livre acesso à água e à ração. Todos os procedimentos com os animais foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa Animal/UFMT, de acordo com os princípios éticos na experimentação animal adotados pela Sociedade Brasileira de Ciência em Animais de Laboratório em 14/10/2009.

#### 5.2.1.1 Grupos experimentais

Foram realizados dois ensaios com duração de 28 dias. Cada ensaio foi composto por 6 grupos, com 4 ratos cada um:

- a) Grupo Controle (n=4), composto por animais que receberam ração a base de caseína;
- b) Grupo Aporteico (n=4), composto por animais que receberam ração aporteica;

- c) Grupo *in natura* (n=4), composto por animais que receberam ração à base de farinha de grãos de amaranto *in natura* (FIAI);
- d) Grupo Cozido (n=4), composto por animais que receberam ração à base de farinha de grãos de amaranto cozidos e secos (FIAC);
- e) Grupo Tostado (n=4), composto por animais que receberam ração à base de farinha de grãos de amaranto tostados (FIAT); e
- f) Grupo Pipocado (n=4), composto por animais que receberam ração à base de farinha de grãos de amaranto pipocados (FIAP).

Os grupos de animais alimentados com ração apteica e com ração à base de farinha de grãos de amaranto *in natura* foram mantidos no experimento apenas até o 14º dia. A finalidade do grupo apteico foi estimar a excreção de nitrogênio endógeno e metabólico dos ratos. Por outro lado os grupos alimentados com a ração base de FIAI foram retirados devido à baixa aceitabilidade pela ração. Ao final de cada ensaio os animais eram transferidos para caixas com maravalhas abastecidas com água e ração comercial, enquanto aguardavam o envio para o zoológico da UFMT.

#### 5.2.1.2 Ração

O balanceamento das rações foi feito tomando-se como base as composições das farinhas integrais de amaranto obtidas no Capítulo 3 e as recomendações do Instituto Americano de Nutrição para Roedores Jovens - AIN 93G (REEVES; NIELSEN; FAHEY, 1993), porém com teores de proteínas entre 9,2 a 10,3 %.

**Tabela 5.1** - Formulação das rações utilizadas no experimento com ratos (g/100g de misturas)<sup>1</sup>.

Ingredientes	Ração					
	Caseína	FIAI	FIAC	FIAT	FIAP	Aproteica
Caseína <sup>2</sup>	10,87	-	-	-	-	-
FIAI	-	76,22	-	-	-	-
FIAC	-	-	75,41	-	-	-
FIAT	-	-	-	74,52	-	-
FIAP	-	-	-	-	75,02	-
Amido de milho	48,88	4,45	5,47	6,44	5,71	59,83
Amido dextrinizado <sup>3</sup>	13,20	1,65	2,35	2,40	2,46	13,12
Sacarose	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Óleo de soja	7,00	2,63	1,72	1,59	1,76	7,00
Fibra <sup>4</sup>	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00
Mistura de minerais <sup>5</sup>	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Mistura de vitaminas <sup>5</sup>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L-Cistina	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Bitartarato de colina	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Proteína (%)	9,38	10,32	9,31	9,89	9,19	0,00

<sup>1</sup> Segundo Reeves, Nielsen e Fahey (1993). <sup>2</sup> Caseína com 92 % de proteína (Cola, Agroquímica, São Paulo); <sup>3</sup> Maltodextrina (Romanus, Campo Largo, Paraná); <sup>4</sup> Fibra - Microcelulose (Comprecel, Valdequímica, São Paulo); <sup>5</sup> Misturas preparadas no laboratório. FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FIAI- farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

Na Tabela 5.1 são apresentados os ingredientes que compunham as diferentes rações oferecidas aos animais durante o experimento. As dietas foram peletizadas e secas a 37 °C com posterior verificação do teor de nitrogênio, pelo método de Kjeldhal (AOAC, 1998). Durante o experimento, as dietas foram mantidas em recipientes fechados, sob congelamento a -18 °C.

5.2.1.3 Manipulação dos animais, determinação do peso corporal e consumo de ração.

A manipulação dos animais foi realizada em horário fixo com início às 8:00 horas. Os animais foram pesados nos primeiros catorze dias em intervalos aproximados de 4 dias e após, semanalmente, até completarem os 28 dias do ensaio. Nos dias de pesagem dos animais foi também feita a limpeza das gaiolas metabólicas. A coleta de dados do consumo de ração por animal, a oferta de ração e de água e a limpeza dos coletores de urina foram realizadas diariamente.

5.2.1.4 Cálculo do coeficiente da eficácia proteica (CEP)

O CEP foi determinado pelo método de Osborne, Mendel e Ferry de acordo com a AOAC (1975). Baseia-se na relação entre o ganho de peso dos animais e a quantidade de proteína consumida, conforme a equação 5.1.

$$\text{CEP} = \frac{\text{Ganho de peso (g)}}{\text{Proteína consumida (g)}} \quad [5.1]$$

5.2.1.5 Cálculo da razão proteica líquida (RPL)

A RPL constitui uma modificação do CEP por acrescentar, ao ganho de peso do rato do grupo teste, a perda de peso dos animais do grupo com dieta livre de proteína. O cômputo da perda de peso dos animais alimentados com ração aprotéica elimina possíveis erros ocorridos nos valores de CEP decorrentes de variações nos teores de proteína na dieta. A RPL é determinada no 14º dia do experimento, tomando-se o ganho de peso do grupo teste mais a perda de peso do grupo de dieta aprotéica, em relação ao consumo de proteína do grupo teste, segundo o método de Bender e Doell (1957), conforme a equação 5.2

$$\mathbf{RPL} = \frac{\mathbf{GE} + \mathbf{PA}}{\mathbf{PE}} \quad [5.2]$$

em que:

GE = Ganho de peso (g) do grupo experimental;

PA = Perda de peso (g) do grupo aprotéico; e

PE = Proteína consumida (g) pelo grupo experimental.

#### 5.2.1.6 Cálculo da utilização proteica líquida (UPL)

A partir do valor de RPL, estimou-se o índice UPL a fim de se avaliar a retenção de proteína pelo organismo, utilizando-se a equação de Bender e Doell (1957):

$$\mathbf{UPL} = 3,3 + (15,5 \times \mathbf{RPL}) \quad [5.3]$$

#### 5.2.1.7 Cálculo da digestibilidade verdadeira (Dv)

A digestibilidade é a medida do percentual das proteínas hidrolisadas pelas enzimas digestivas e absorvidas pelo organismo, ou seja, considera o nitrogênio absorvido pelo animal em relação ao nitrogênio ingerido. A digestibilidade verdadeira foi calculada medindo a quantidade de nitrogênio ingerido na ração, a excretada nas fezes e a perda metabólica nas fezes, que corresponde ao nitrogênio fecal do grupo alimentado com ração aprotéica. Para tanto, as fezes dos ratos foram coletadas entre o 5° e 14° dia do experimento, acondicionadas em recipientes e mantidas sob refrigeração (4 °C ± 2). Após o término da coleta, as fezes foram secas por 24 horas em estufa a 105 °C, pesadas e moídas para determinação do teor de nitrogênio pelo método de Kjeldhal, segundo a AOAC (1998). O cálculo foi realizado de acordo com a equação 5.4.

$$Dv = \frac{NI - (NF - NA)}{NI} \times 100 \quad [5.4]$$

em que:

NI = Nitrogênio ingerido;

NF = Nitrogênio fecal do grupo experimental; e

NA = Nitrogênio fecal do grupo com dieta aprotéica.

#### 5.2.1.9 Fator de conversão alimentar (FCA)

O fator de conversão alimentar permite verificar a eficiência da ração em promover o crescimento dos animais. O cálculo foi realizado de acordo com a equação 5.5.

$$FCA = \frac{\text{Ganho de peso(g)}}{\text{Ração consumida(g)}} \quad [5.5]$$

#### 5.2.2 Determinação do escore químico corrigido pela digestibilidade da proteína ou *protein digestibility-corrected amino acid score* (PDCAAS) das farinhas de amaranto

PDCAAS é um método reconhecido por vários organismos internacionais, tais como FDA e FAO/WHO, que visa a avaliar a qualidade proteica do alimento em função das quantidades adequadas de aminoácidos indispensáveis ao desenvolvimento, manutenção, reprodução do ser humano e da digestibilidade da proteína presente no alimento em estudo. O PDCAAS é o produto do escore químico (EQ), que se encontra no Capítulo-4 na Tabela 4.5, pela digestibilidade verdadeira da proteína (Dv), conforme a equação 5.6 (HENLEY e KUSTER, 1994). Convencionou-se que a proteína cujo PDCAAS for igual ou superior a 1,0 é considerada de boa qualidade.

$$\text{PDCAAS} = \text{EQ} \times \text{Dv}$$

[5.6]

### 5.2.3 Índices de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO)

Os índices de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) das farinhas de amaranto foram determinados de acordo com os métodos descritos por Gamel et al. (2006a). Para determinar o IAA foram misturados, em tubos de centrífuga de 50 mL, previamente pesados, 0,5 grama de farinha de amaranto *in natura* ou processado com 4 mL de água destilada, à temperatura ambiente. Os conteúdos dos tubos foram agitados por 30 segundos, com agitador mecânico de haste vertical e, em sequência, mantidos em repouso por 10 min. Após o repouso os tubos foram levados a centrifugação (Fanen, Excelsa II, 206 MP) por 25 minutos a 1000 xG. O sobrenadante foi descartado e o sedimento foi levado para estufa de ventilação forçada, a 50 °C, onde permaneceu por 25 min. Os sedimentos foram pesados após resfriamento. O IAA foi obtido pela razão entre o peso do sedimento e o peso inicial da farinha, sendo o resultado expresso em gramas de água absorvida por grama de farinha seca. Foram realizados dez repetições.

O IAO foi determinado misturando em tubo de centrífuga de 50 ml, 0,5 grama de farinha de amaranto *in natura* ou processado com 3 mL de óleo de milho, previamente pesados. A mistura foi agitada durante 30 segundos, com agitador mecânico de haste vertical. Em seguida, os tubos foram deixados em repouso por 10 min. Após o repouso, eles foram centrifugados (Fanen, Excelsa II, 206 MP) por 25 minutos a 1000 xG, o sobrenadante foi descartado e o sedimento pesado. O IAO foi determinado pela razão entre o peso do sedimento e o peso inicial da farinha, sendo o resultado expresso em gramas de óleo absorvido por grama de farinha seca. Foram realizados dez repetições.

### 5.2.4 Análise estatística

Os resultados dos atributos avaliados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se do aplicativo Minitab 13.1 (Minitab Inc., 2005).

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.1 Avaliação biológica das farinhas integrais de amaranto

Os animais consumiram nos primeiros 14 dias do ensaio biológico mais ração/proteína das farinhas de grãos tratados termicamente e, conseqüentemente, apresentaram ganho de peso superior aos animais que consumiram a ração elaborada com a FIAI (Tabela 5.2). Observa-se, ainda, que os ratos alimentados com ração à base de FIAC ou FIAT apresentaram ganho de peso e consumo de ração/proteína superiores aos alimentados com ração à base de FIAP e igual ao grupo alimentado com ração à base de caseína.

**Tabela 5.2** - Ganho de peso, consumos de ração e de proteínas e fator de conversão alimentar (FCA) dos animais aos 14 e 28 dias de ensaio.

Grupo	Ganho de peso		Consumo ração (g)		Consumo-proteína (g)		FCA	
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14dias	28 dias
Caseína	73,52 ± 14,41a	189,1 ± 16,78a	198,45 ± 24,83a	469,6 ± 37,0b	18,59 ± 1,97a	44,32 ± 2,99a	0,37 ± 0,03a	0,40 ± 0,04a
FIAI	7,22 ± 2,09c	nd	82,60 ± 11,23c	nd	7,69 ± 1,00c	nd	0,09 ± 0,02d	nd
FIAC	70,04 ± 12,85a	172,3 ± 13,50ab	216,66 ± 19,75a	532,4 ± 26,8a	18,78 ± 1,59a	46,02 ± 2,15a	0,32 ± 0,04b	0,32 ± 0,01b
FIAT	70,17 ± 8,54a	159,6 ± 2,10b	216,80 ± 22,39a	500,8 ± 37,2ab	20,78 ± 2,58a	47,98 ± 4,56a	0,32 ± 0,03b	0,32 ± 0,03b
FIAP	21,39 ± 5,58b	39,9 ± 8,08c	152,99 ± 14,00b	303,5 ± 32,7c	13,13 ± 1,21b	26,06 ± 2,82b	0,14 ± 0,03c	0,13 ± 0,01c

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste "t", a 5% de probabilidade. nd = não determinado.  
 FIAI - farinha integral de grãos de *A. cruentus in natura*; FIAC - farinha integral de grãos de *A. cruentus* cozidos; FIAT - farinha integral de grãos de *A. cruentus* tostados; e FIAP - farinha integral de grãos de *A. cruentus* pipocados.

Na avaliação aos 28 dias, os animais tratados com FIAT, FIAC e caseína consumiram diferentes quantidades de rações, mas apresentaram o mesmo consumo de proteínas. No entanto, o ganho de peso dos ratos alimentados com FIAT foi menor que os animais da ração controle. Os ratos alimentados com FIAP consumiram menor quantidade de proteína, devido ao menor consumo de ração, e obtiveram o menor ganho de peso entre os tratamentos.

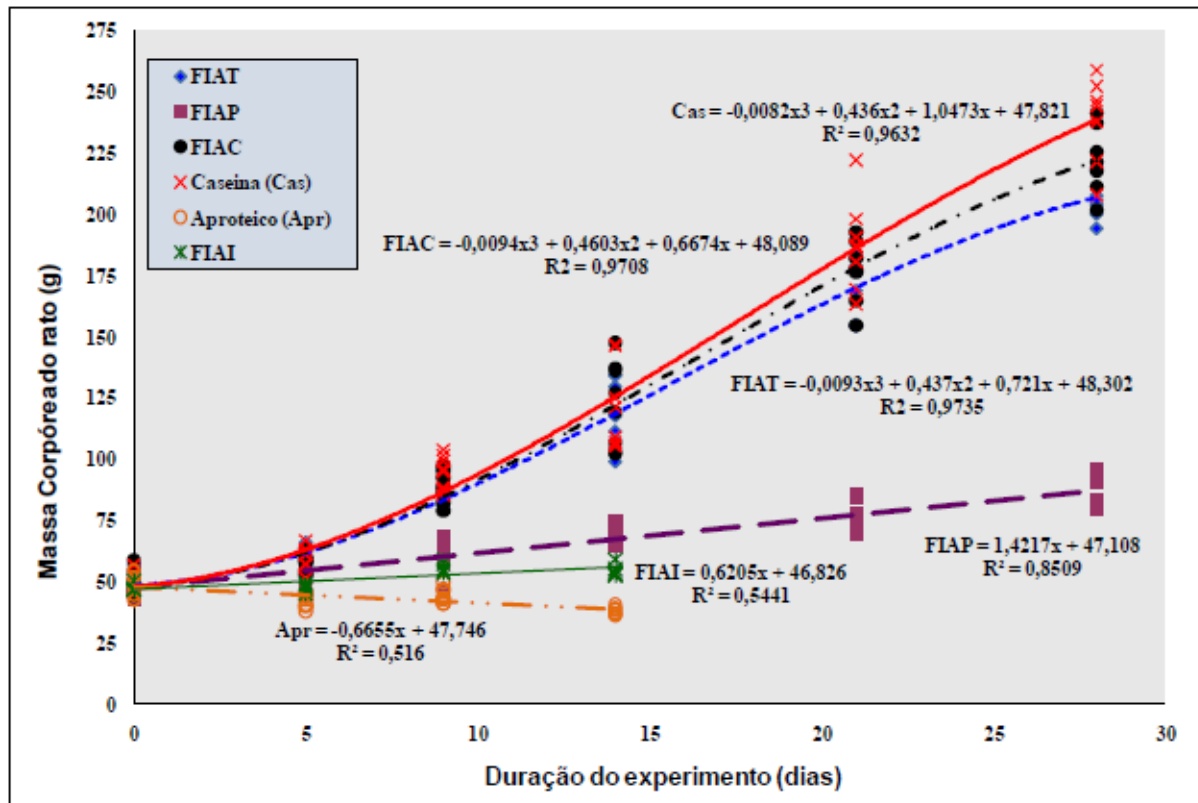
O fator de conversão alimentar (FCA) foi determinado aos 14 e 28 dias do experimento. As rações apresentaram comportamento semelhante entre os dois períodos estudados. As rações à base de FIAC e FIAT não apresentaram diferenças nos valores de FCA e foram superiores aos obtidos pela FIAI e FIAP, mas foram inferiores aos obtidos para caseína. Os animais que se alimentaram de ração à base de FIAP, além de consumirem menor quantidade de ração, apresentaram baixa

conversão alimentar, que resultou em ganhos de peso de apenas 29% aos 14 dias e 21 % no período de 28 dias.

A Figura 5.1 representa a evolução dos pesos dos animais durante os 28 dias de experimento. Os animais que consumiram dieta à base de farinha de grãos de amaranto *in natura* e aprotéica foram mantidos no experimento somente nos primeiros 14 dias. O grupo aprotéico perdeu, ao longo deste período, aproximadamente 10,84 g de peso vivo, que corresponde a 22% do seu peso inicial. A curva de ganho de peso dos animais que se alimentaram com ração de grãos de amaranto cozidos ou tostados foi semelhante à dos animais do grupo caseína, demonstrando a eficácia das rações à base de FIAC e FIAT em promover o crescimento dos animais. As rações à base de FIAI e FIAP tiveram uma baixa aceitabilidade pelos animais e embora a FIAP tenha promovido um aumento de peso dos ratos superior ao da FIAI, nos primeiros 14 dias, seu desempenho foi inferior aos demais grupos testes e à caseína durante os 28 dias. Este fato é confirmado pelos valores obtidos de FCA aos 14 e 28 dias.

O incremento da massa corpórea dos ratos alimentados com rações à base de caseína, FIAC e FIAT apresentou comportamento cúbico e os animais alimentados com ração à base de FIAP e FIAI comportamento linear. No primeiro caso, os ratos inicialmente ganharam pouca massa devido ao seu período de adaptação ao novo ambiente, à alimentação e à vida solitária. Após este período, houve um rápido e contínuo acréscimo de massa corpórea, que foi seguido de uma taxa de crescimento mais lenta já na fase final do experimento. Por outro lado, os animais que se alimentaram de ração à base de FIAP e FIAI apresentaram um crescimento linear, porém lento, não havendo distinção do período de adaptação. Já os animais que se alimentaram de ração aprotéica perderam peso continuamente até o momento em que foram retirados do experimento.

**Figura 5.1** - Evolução dos pesos dos ratos alimentados com ração apteica, à base de caseína e de farinhas de grãos de amaranto durante os experimentos.



FIAC- farinha integral de grãos de amaranto cozidos; FIAT- farinha integral de grãos de amaranto tostados; FIAP- farinha integral de grãos de amaranto pipocados; FIAI- farinha integral de grãos de amaranto *in natura*.

A Tabela 5.3 contém os resultados dos indicadores da qualidade proteica obtidos no ensaio biológico para as farinhas integrais de grãos de amaranto estudadas. Os valores de CEP encontrados para as farinhas integrais cozidas e tostadas (3,74 e 3,38) foram inferiores ao da caseína, mas superiores ao da FIAP (1,52) indicando que as altas temperaturas empregadas para a produção de pipocas modificaram as proteínas e dificultaram sua utilização pelos animais. Pode-se considerar as proteínas presentes nas farinhas integrais de grãos tostados e de cozidos como sendo de alta qualidade e a da farinha de grãos pipocados de média qualidade proteica, pois, segundo Friedman (1996), proteína de boa qualidade apresenta CEP superior a 2,0, de média qualidade tem valores entre 1,5 e 2,0 e de baixa qualidade aquelas com CEP menor que 1,5.

A cocção por ebulição dos grãos de amaranto melhorou significativamente a qualidade da proteína da farinha, tornando-a similar à da caseína, neste caso os valores de RPL e UPL não foram diferentes. A tostagem dos grãos

também promoveu um aumento da disponibilidade da proteína, com valores de RPL e UPL superiores aos da FIAI e FIAP, mas inferiores ao da caseína. As altas temperaturas (210 -215 °C) utilizadas para pipocar os grãos provocaram perda da qualidade proteica e reduziram a digestibilidade da proteína em relação às demais farinhas. Os processos adotados para cozer e tostar os grãos não afetaram a digestibilidade da proteína uma vez que os valores de Dv das FIAC, FIAT e FIAI não foram diferentes entre si, embora foram inferiores ao da caseína.

**Tabela 5.3** - Parâmetros da qualidade biológica das farinhas de grãos de amaranto<sup>1</sup>.

Ração	Indicadores de qualidade proteica			
	CEP	RPL	UPL	Dv
Caseína	4,27± 0,29a	4,55± 0,41a	73,89± 6,42a	94,70 ± 0,37a
FIAI	nd	2,44± 0,34c	41,19± 5,34c	83,83 ± 1,83b
FIAC	3,74± 0,18b	4,43± 0,40ab	71,93± 6,29ab	84,69 ± 1,59b
FIAT	3,38± 0,37b	4,02± 0,22b	65,67± 3,48b	84,19-± 0,69b
FIAP	1,52± 0,17c	2,48± 0,23c	41,75± 3,61c	76,05 ± 2,97c

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste "Tukey", a 5% de probabilidade. nd = não determinado. CEP- coeficiente de eficácia proteica; RPL- Razão proteica líquida; UPL- utilização proteica líquida; Dv- digestibilidade verdadeira. FIAI - farinha integral de grãos de *in natura*; FIAC - farinha integral de grãos cozidos; FIAT - farinha integral de grãos de tostados; e FIAP - farinha integral de grãos pipocados.

O valor de Dv obtido para a FIAI está próximo aos 81%, 80,5% e 78% encontrados em *A. cruentus* por Escudero et al. (2004); Garcia, Alfaro e Bressani (1987) e Mendoza e Bressani (1987), respectivamente. O valor de Dv obtido na FIAC foi superior ao encontrado por Garcia, Alfaro e Bressani, (1987) em grãos cozidos entorno de 77,3%. No caso de grãos pipocados, a digestibilidade encontrada por Gamel et al. (2004) foi de 86,1 %, enquanto neste trabalho, o valor obtido para FIAP foi de 76,05%. A pequena variação nos valores obtidos para os grãos *in natura*, contrapondo-se às variações obtidas nos grãos tratados termicamente, mostra que a forma de se aplicar o calor pode interferir na digestibilidade da proteína de *A. cruentus*.

No presente trabalho não foi determinado o valor do CEP com o grupo de animais que receberam ração à base de FIAI, pois os ratos não tiveram uma boa evolução sendo retirados do experimento aos 14 dias. No entanto, encontram-se na literatura relatos de valores de CEP para grãos *in natura*, como 1,98 e 2,53

encontrados por Bressani (1994) e 1,6 obtido por Garcia, Alfaro e Bressani (1987). Os valores de UPL de 51,5 obtidos por Escudero et al. (2004) em farinha de *A. cruentus in natura* também destoam dos encontrados neste trabalho.

Nas farinhas de grãos tratados termicamente como a FIAP, obteve-se valor de CEP de 1,52, enquanto Gamel et al. (2004) encontraram CEP de 2,05 para grãos pipocados. Nos grãos cozidos, Bressani (1994) encontrou valores de CEP entre 2,48 e 2,66 e Garcia, Alfaro e Bressani (1987) encontraram valores de 2,6 enquanto neste trabalho o valor obtido para FIAC foi de 3,75. Mais uma vez as variações nos valores de CEP obtidos aqui e pelos diferentes autores levam a crer que, além do tipo de calor empregado, a forma de se aplicar o tratamento térmico interfere no valor biológico dos produtos obtidos

Mendonza e Bressani (1987) mencionam que a presença de algumas substâncias antifisiológicas nos grãos de amaranto *in natura* pode dificultar o crescimento dos animais de laboratório. A inativação destas substâncias resultaria numa melhoria da palatabilidade aumentando, assim, a ingestão das rações contendo farinhas integrais de grãos de amaranto tratados termicamente. Schnetzler e Breene (1994) relataram que o cozimento por ebulição, a tostagem e o pipocamento dos grãos podem destruir ou remover os inibidores de proteases. Garcia, Alfaro e Bressani (1987) reportam que a cocção por calor úmido aumenta a qualidade proteica dos grãos de amaranto e melhora sua palatabilidade. Para estes autores, o ganho de peso dos animais de laboratório está mais associado ao aumento do consumo das farinhas de grãos tratados termicamente do que aos prováveis fatores tóxicos presentes no grão *in natura*.

A baixa aceitabilidade das rações de FIAI e FIAP pode estar associada, na primeira, à presença de fatores antinutricionais como inibidores de tripsina, taninos, fitatos, compostos fenólico e, na segunda, à alta temperatura utilizada para pipocar os grãos, seguido da moagem das pipocas para produção da farinha. Os tratamentos térmicos utilizados no processamento dos grãos de amaranto reduziram os inibidores de tripsina nas farinhas (Capítulo-4) de 2,67 para 0,41 (FIAC), 0,42 (FIAT) e 0,15 (FIAP).

O grão de amaranto possui, além de quantidades consideráveis de lisina, açúcares simples como glicose, galactose e frutose (GAMEL et al., 2006b), que sob altas temperaturas, como a utilizada para pipocar, desencadeiam reações de Maillard que provoca o escurecimento do alimento e pode ser responsável pela

modificação do valor nutritivo em alimentos tratados termicamente. Nunes e Baptista (2001) relatam que estas reações podem causar decréscimo da digestibilidade proteica; redução da biodisponibilidade da lisina e de outros aminoácidos; formação de substâncias que podem inibir o crescimento; bem como pela mudança nos caracteres sensoriais, com aparecimento de substâncias que influenciam desfavoravelmente no gosto e no odor. O baixo desempenho da ração à base farinhas de grãos pipocados pode ter como causa o desenvolvimento da reação de Maillard, associada à perda de lisina.

Os índices baseados no crescimento dos animais (CEP, RPL) em geral tendem a subestimar o valor nutritivo das proteínas para a espécie humana, pois o rato tem crescimento mais lento e necessidade comparativamente maior de aminoácidos essenciais, particularmente aminoácidos sulfurados (De ANGELIS, 1995). Por isso, vários organismos internacionais adotaram o método conhecido como escore aminoacídico corrigido pela digestibilidade proteica (do inglês, *Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score* - PDCAAS) como método preferencial para a avaliação do valor proteico na nutrição humana, que neste caso baseia-se nas necessidades indispensáveis de aminoácidos para o crescimento / desenvolvimento / manutenção da vida humana.

A farinha integral de grãos pipocados foi a que apresentou menores valores de PDCAAS, entre 54% a 62% (Tabela 5.4). Esta farinha além dos baixos níveis de lisina, primeiro aminoácido limitante (Capítulo-4, Tabela 4.5), apresentou também o menor valor de digestibilidade verdadeira (Dv) entre todas as farinhas. Os valores de PDCAAS encontrados para os primeiros aminoácidos limitantes, para crianças de 1 a 2 anos, apresentaram correlação forte com os valores médios obtidos para CEP (Tabela 5.3), e para o RRPL (RPL relativo à caseína) das farinhas integrais de grãos tratados termicamente (Correlação de Pearson: CEP = 99,2%, com p-valor de 0,081; RRPL = 97,1%, com p-valor de 0,15). O CEP expressa a relação entre o ganho de peso do animal de laboratório e a quantidade de proteína por ele ingerida. No caso de existir um aminoácido limitante, o animal não terá o desenvolvimento esperado, mesmo que se alimente de quantidades suficientes de ração e proteína. Por outro lado, o PDCAAS é determinado pela relação entre a quantidade de cada aminoácido essencial presente na proteína e a necessidade do indivíduo em cada faixa etária. Assim, a alta correlação entre estes índices mostra que há coerência nos

resultados encontrados, pois um vem do ensaio biológico e o outro, de análises químicas, corrigidos pela digestibilidade da proteína.

O índice PDCAAS é uma opção rápida e simples para avaliar a qualidade proteica de alimentos de origem vegetal, mas apresenta segundo Schaafsma (2005) algumas limitações relacionadas à incerteza sobre a validade dos padrões de referência, o truncamento de valores de PDCAAS a 100%, a não obtenção de resposta biológica total após a suplementação dos aminoácidos essenciais limitantes, os efeitos do processamento sobre a qualidade da proteína e os efeitos da presença de fatores antinutricionais na matriz alimentar.

As limitações do método PDCAAS foram verificadas, neste estudo, pois as farinhas tratadas termicamente apresentaram alta correlação entre os valores de CEP, RRPL e PDCAAS, mas, para a farinha de grão *in natura*, isso não ocorreu. O valor PDCAAS superestimou o valor proteico da farinha de grãos *in natura*. Quando os dados referentes à farinha de grãos *in natura* foram incluídos no modelo, a correlação foi fraca (< 60%).

A farinha integral de grãos pipocados reduziu seu conteúdo de lisina (54%), leucina (74%) e aminoácidos sulfurados (71%), em relação a FIAI, mas mesmo assim, os valores obtidos estão acima dos encontrados para outros grãos. Pires et al. (2006) encontraram 37% para lisina na farinha de milho e 40% na de trigo, 63% de aminoácidos sulfurados no feijão e 54% na soja. No caso da valina, os valores obtidos para FIAI, FIAC e FIAT são superiores ao obtidos pelos mesmos autores para farinhas de trigo (80%) e milho (78%).

**Tabela 5.4** Escore de aminoácidos corrigidos pela digestibilidade verdadeira da proteína (PDCAAS)<sup>1</sup> das farinhas de grãos de amaranto, em função da faixa etária.

Aminoácidos essenciais	FIAI				FIAC				FIAT				FIAP			
	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adulto <18anos	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adulto <18anos	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adulto <18anos	1-2 anos	3-10 anos	11-14 anos	Adulto <18anos
Fenilalanina +tirosina	1,54	1,74	1,74	1,87	1,56	1,75	1,75	1,89	1,59	1,78	1,78	1,92	1,41	1,59	1,59	1,71
Histidina	1,22	1,37	1,37	1,46	1,20	1,36	1,36	1,45	1,19	1,33	1,33	1,42	1,06	1,19	1,19	1,27
Isoleucina	1,32	1,32	1,37	1,37	1,33	1,33	1,37	1,37	1,37	1,37	1,42	1,42	1,18	1,18	1,22	1,22
Leucina	0,81	0,84	0,86	0,87	0,83	0,86	0,87	0,89	0,86	0,88	0,90	0,92	0,74	0,76	0,78	0,79
Lisina	0,95	1,02	1,02	1,09	0,97	1,04	1,04	1,11	0,88	0,96	0,96	1,03	0,54*	0,59*	0,59*	0,62*
Metionina +cisteína	0,78*	0,84*	0,88	0,92	0,81*	0,88	0,92	0,97	0,84*	0,91	0,95	0,99	0,71	0,78	0,81	0,84
Treonina	1,63	1,75	1,75	1,91	1,55	1,67	1,67	1,81	1,53	1,66	1,66	1,80	1,49	1,61	1,61	1,75
Triptofano	2,39	2,39	2,39	2,79	2,23	2,23	2,23	2,60	2,30	2,30	2,30	2,69	2,12	2,12	2,12	2,47
Valina	0,92	0,96	0,96	0,99	0,94	0,99	0,99	1,02	0,94	0,99	0,99	1,02	0,83	0,87	0,87	0,90

<sup>1</sup> Digestibilidade verdadeira da proteína foi obtida em experimento com ratos: FIAI = 83,83%; FIAC = 84,69%; FIAT = 84,19%; FIAP = 76,05%.

\*PDCAAS do primeiro aminoácido limitante por faixa etária. FIAI - farinha integral de grãos de *in natura*; FIAC - farinha integral de grãos cozidos; FIAT - farinha integral de grãos tostados; e FIAP - farinha integral de grãos pipocados.

Bejosano e Corke (1998) encontraram PDCAAS para farinha integral *A. cruentus in natura* valor de 64% para leucina, superior aos obtidos na proteína do trigo (40%), da aveia (57%) e da lentilha (52%). Os valores de PDCAAS para treonina obtidos neste trabalho (163% a 191%) são diferentes dos 63% apresentados por Escudero et al. (2004) em farinhas de *A. cruentus in natura*.

### 5.3.2 índices de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO)

A maior capacidade da farinha para absorver e reter água e óleo pode melhorar a textura, a retenção de sabor, o paladar e reduzir as perdas de umidade e óleo dos produtos. As farinhas integrais de grãos cozidos e pipocados apresentaram maiores retenções de água em relação às FIAI e FIAT. Estas últimas não apresentaram valores de IAA e IAO diferentes, mostrando que o processo utilizado para tostar os grãos manteve as propriedades da farinha *in natura* (Tabela 5.5).

O grau de absorção de água está diretamente relacionado com a preservação da integridade dos grânulos de amido (GONZALEZ et al., 2007) e com a disponibilidade de grupos hidrofílicos, que ligam às moléculas de água. No caso dos grãos pipocados, houve uma expansão termoplástica do amido aumentando enormemente sua superfície específica, permitindo maior absorção de água. Este efeito foi potencializado pela moagem que tornou ainda maior esta superfície. O mesmo efeito não ocorreu com o cozimento que, embora tenha produzido a gelatinização do amido, não foi capaz de aumentar a superfície específica da farinha ao nível do pipocamento.

O estágio inicial da solubilização dos polímeros, amilose e amilopectina, é o intumescimento seguido da dispersão e finalmente a solubilização. Contudo, os efeitos de dispersão e solubilização não são possíveis para polissacarídeos como a celulose que somente são capazes de inchar (AKALU et al., 1998). Os grânulos de amido do amaranto apresentam a superfície lisa, alto poder de intumescimento, resistência ao descongelamento, baixa temperatura de gelatinização (LEHMANN, 1996; BREENE, 1991), baixa solubilidade, alta retenção de água e baixa susceptibilidade à  $\alpha$ -amilase quando comparados ao amido de milho (CALZETTA-REZIO; TOLAVA; SUAREZ, 2000 e TEUTONICO; KNORR, 1985).

**Tabela 5.5** Índice de absorção de água (IAA) e de óleo (IAO) das farinhas de grãos de amaranto<sup>1</sup>.

Propriedades Tecnológicas	Farinhas			
	FIAI	FIAP	FIAC	FIAT
IAA*	2,35 ± 0,07c	5,95 ± 0,92a	4,16 ± 0,33b	2,54 ± 0,05c
IAO*	2,01 ± 0,03b	2,33 ± 0,02a	1,94 ± 0,01c	1,96 ± 0,02bc

<sup>1</sup>Médias seguidas da mesma letra, nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\* grama de água ou óleo por grama de farinha. FIAI - farinha integral de grãos *in natura*; FIAC - farinha integral de grãos cozidos; FIAT - farinha integral de grãos tostados; e FIAP - farinha integral de grãos pipocados.

Gamel et al. (2006a) relataram que a desnaturação das proteínas pelo tratamento térmico aumenta sua capacidade de ligação com água. Segundo estes autores, o processo de pipocamento dos grãos de amaranto foi o mais eficaz no aumento da absorção de água da farinha de amaranto, elevando a absorção de água de 1,8 g de água por grama de farinha crua de *A. cruentus* para 6,3 g de água por grama de farinha do pipocado. Comportamento semelhante foi obtido neste trabalho para as farinhas elaboradas com grãos *in natura* (crus) e pipocados, pois o IAA indica que a FIAP absorveu 6 vezes o seu peso inicial e 2,4 vezes mais água que a FIAI.

González et al. (2007) encontraram maiores valores de absorção de água e menores valores para solubilidade para grãos de amaranto pipocados pelo sistema de leito fluidizado e valores inversos para os extrusados. Eles justificaram que o aquecimento em sistema de leito fluidizado causou no amido dos grãos de amaranto uma perda parcial de cristalinidade, mas preservou a integridade do grânulo do amido, e que as condições de processamento (explosão e extrusão) promovem mudanças na estrutura e novas interações entre o amido e os outros componentes do grão. Akalu et al. (1998) reportam que durante o processamento térmico a absorção de água ocorre, supostamente, nos sítios iônicos das cadeias de proteínas das sementes de ervilhas. Sreerama, Sasikala e Pratape (2008) relatam que o maior aumento de IAA em grãos (Horse gram da Índia) expandidos é devido principalmente à gelatinização do amido e à desnaturação da proteína (resíduo de aminoácido polar tem afinidade por moléculas de água).

Os IAO das farinhas de amaranto estão diretamente ligados aos processos adotados para cozimento ou pipocamento dos grãos que podem produzir diferenças significativas nesta propriedade. A FIAP apresentou acréscimo e a FIAC

redução significativas dos IAO em relação à FIAI (Tabela 5.5). Já Gamel et al. (2006a) relataram que a cocção e o pipocamento em superfície aquecida não afetaram a índice de absorção de óleo de grãos de *A. cruentus*. Por outro lado, Zapotoczny et al. (2006) estudando grãos de amaranto *in natura* e pipocados (ar quente), obtiveram um aumento de 5,3 % IAO para as pipocas.

Segundo Dench, Rivas e Caygil (1981) a absorção de óleo varia em função do número de grupos hidrofóbicos expostos da proteína, e Sreerama, Sasikala e Pratape (2008) citam que o mecanismo de absorção de óleo pode ser explicado como um aprisionamento físico do óleo pelas cadeias laterais não polares da proteína e que a natureza da estrutura primária e característica conformacional, concentrações de aminoácidos hidrofóbicos e conteúdo de proteínas contribuem para as propriedades de retenção do óleo em alimentos. A natureza microporosa dos produtos expandidos também pode expor mais proteínas para a superfície para interagir com óleo. O produto expandido pode ser útil em formulações à base de carne moída, substitutos de carne, panquecas, sopas e outros produtos, em que capacidade de retenção de óleo é de primordial importância.

#### 5.4 CONCLUSÃO

A tostagem e o cozimento dos grãos foram os tratamentos térmicos que melhoraram a palatabilidade e permitiram melhor aproveitamento da proteína em relação FIAI. Tanto a FIAC quanto a FIAT contêm proteínas de alto valor biológico, sendo que os índices RPL e UPL da FIAC são semelhantes aos da caseína. O pipocamento dos grãos prejudicou a qualidade aminoacídica e a digestibilidade da proteína, em relação a FIAI. Os índices de absorção de água e de óleo não foram afetados pela tostagem dos grãos, mas foram pelo pipocamento que aumentou o IAA e IAO e pelo cozimento que diminuiu o IAO, em relação FIAI.

#### 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKALU, G.; TUFVESSON, F.; JONSSON, C.; NAIR, B. M. Physico-chemical characteristics and functional properties of starch and dietary fibre in grass pea seeds. **Starch/Starke**, v. 50, n. 9, p. 374-382, 1998.

AMAYA-FARFAN, A.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. A proposta do amaranto. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v.12, n.1, p.47-56, 2005.

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC) -Horwitz W. (Ed). **Official Methods of Analysis the Association of Chemistry**. 16<sup>th</sup> Edition. Arlington, AOAC Inc., Washington, D.C., março, 1998. 1298p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. Washington, DC, 1975. 1094 p.
- BEJOSANO, F. P.; CORKE, H. Protein quality evaluation of amaranthus wholemeal flours and protein concentrates. **Journal. Science Food Agriculture**, United Kingdon, v.76, n.1, p.100-106, 1998.
- BENDER, A. E.; DOELL, B. H. Note on the determination of net protein utilization by carcass analysis. **British Journal of Nutrition**, v.11, p. 138-143, 1957.
- BREENE, W. M. Food uses of amaranth grain. **Cereal Food Word**, St. Paul, v.36, n.5, p.426-430, 1991.
- BRESSANI, R. Composition and nutritional properties of amaranth. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed). **Amaranth: biology, chemistry, and technology**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.185-1205.
- CALZETTA-REZIO, N. A.; TOLAVA, M. P.; SUAREZ, C. Some physical and thermal characteristics of amaranth starch. **Food Science Technology International**, v.10, n.5, p.371-378, 2000.
- DE ANGELIS, R. C. Valor nutricional das proteínas: métodos de avaliação. **Caderno de Nutrição**, 10: 8-29, 1995.
- DENCH, J. E., RIVAS, R. N., CAYGIL, J. C. Selected functional properties of sesame (*Sesame indicum* L) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 32, p. 557, 1981.
- ESCUADERO, N. L.; ARELLANO, M. L.; LUCO, J. M.; GIMÉNEZ, M. S.; MUCCIARELLI, S. I. Comparison of the chemical composition and nutritional value of *Amaranthus cruentus* flour and its protein concentrate. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 59, p. 15-21, 2004.
- FREEDMAN, M. Nutritional value of proteins from different food sources-a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, p. 6-29, 1996.
- GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Nutritional study of raw and popped seed protein of *Amaranthus caudatus* L and *Amaranthus cruentus* L. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p.1153-1158, 2004.
- GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Seed treatments affect functional and antinutritional properties of amaranth flours. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 1095-1102, 2006a.
- GAMEL, T. H.; LINSSEN, J. P.; MESALLAM, A. S.; DAMIR, A. A.; SHEKIB, L. A. Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: oil, sugars, fibres, minerals and vitamins. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 82-89, 2006b.
- GARCIA, L. A.; ALFARO, M. A.; BRESSANI, R. Digestibility and protein quality of raw and heat-processed defatted and nondefatted flours prepared with three amaranth species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.35, n. 4, p. 604607, 1987.

- GONZÁLEZ, R.; CARRARA, C.; TOSI, E.; AÑÓN, M. C.; PILOSOFF, A. Amaranth starch-rich fraction properties modified by extrusion and fluidized bed heating. **LWT**, v. 40, p. 136-143, 2007.
- HENLEY, E. C., KUSTER, J. M. Protein quality evaluation by protein Digestibility-corrected amino acid scoring. **Food Technology**, v. 4, n. 1, p. 74-77, 1994.
- LEHMANN, J. W. Case history of grain amaranth as an alternative crop. **Cereal Food Word**. St Paul, v.41, n.5, p.399-411, maio. 1996.
- MENDOZA, C. M.; BRESSANI, R. Nutritional and functional characteristic of extrusion-cooked amaranth flour. **Cereal Chemistry**, v.64, v. 4, p. 218-222, 1897.
- NUNES, C. S.; BAPTISTA, A. O. Implicações da reação de Maillard nos alimentos e nos sistemas biológicos. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v.96, n. 538, p. 53-59, 2001.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE: Protein and amino acid requirements in human nutrition. Informe da reunião consultiva conjunta FAO/OMS/WHO. Genebra, OMS, 2007. 284p. (WHO technical report series n. 935).
- PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; ROSA, J. C.; COSTA, N. M. B. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes proteicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 179-187, 2006.
- REEVES, P. G.; NIELSEN, F. H.; FAHEY, G. C. AIN-3 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition *ad hoc* writing Committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. **Journal of Nutrition**, v.123, n.10, p.1939-1952, 1993.
- SCHAAFSMA, G. The protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS)-a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review. **Journal of AOAC International**, v. 88, n. 3, p.988-994, 2005.
- SCHNETZLER, K. A, BREENE, W. M. Food uses and amaranth product research: a comprehensive review. In: PAREDES-LÓPEZ, O. (Ed). **Amaranth: biology, chemistry, and technology**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p.143-154.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradação e modificações**. São Paulo: Livraria Varela, 1996. 517 p.
- SREERAMA, Y. N.; SASIKALA, V. B.; PRATAPE, V. M. Nutritional implications and flour functionality of popped/expanded horse gram. **Food Chemistry**, v. 108, p. 891899, 2008.
- TEUTONICO, R. A.; KNORR, D. Amaranth: composition properties and applications of a rediscovered food crop. **Food Technology**, v.39, n.4, p.49-61, abr., 1985.
- ZAPOTOCZNY, P.; MARKOWSKI, M.; MAJEWSKA, K.; RATAJSKI, A.; KONOPKO, H. Effects of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. **Journal of Food Engineering**, v. 76, p. 469-476, 2006.

## CAPÍTULO 6

### DIGESTIBILIDADE *in vitro* DO AMIDO DAS FARINHAS DE *Amaranthus cruentus* L TRATADOS TERMICAMENTE

**Resumo:** Avaliou-se a influência do tratamento térmico tostagem, cozimento e pipocamento na hidrólise/digestibilidade *in vitro* do amido das farinhas integrais e de pipocas recém preparadas dos grãos de amaranto. A digestibilidade do amido foi avaliada pelo índice de hidrólise (IH), glicose rapidamente disponível (GRD) e lentamente disponível (GLD), amido rapidamente digerido (ARD) e lentamente digerido (ALD) e amido resistente (AR). A hidrólise do amido foi determinada pelo método enzimático. No início da hidrólise ocorreu um rápido acréscimo na percentagem de amido hidrolisado, seguido de incrementos cada vez menores, quanto mais se aproximava do final da reação enzimática. A farinha integral de grãos de amaranto tostado (FIAT) apresentou o maior tempo para hidrolisar 50% do amido presente na farinha (16,0 min.), sendo superior ao do controle (pão branco). Já a farinha integral de grãos de amaranto pipocados (FIAP) apresentou o menor tempo (6,0 min.). A farinha integral de grãos tostados (FIAT) apresentou os menores valores de GRD/ARD e maiores de GLD/ALD. Na farinha integral de grãos pipocados (FIAP) os valores de GRD/ARD foram maiores e os de GLD/ALD menores em relação às demais farinhas e a pipoca fresca. Os maiores valores de AR foram obtidos nas FIAT e FIAP, superior aos demais alimentos estudados. Devido à alta correlação entre o fator de hidrólise " $k^{-1}$ " e o GRD pode-se considerar o " $k^{-1}$ " um forte indicador do comportamento da digestão do amido, independente do método enzimático adotado para a hidrólise do amido.

**Palavras-chave:** Hidrólise do amido. Glicose rapidamente disponível. Glicose lentamente disponível. Amido rapidamente digerido. Amido lentamente digerido. Amido resistente.

#### 6.1 INTRODUÇÃO

O consumo de alimentos ricos em carboidratos e a obesidade têm aumentado e as doenças como o diabetes tem se tornado um problema comum e merecido a atenção das autoridades de saúde pública. Segundo dados do Ministério da Saúde do Brasil, pelo menos 5,8% da população acima de 18 anos tem diabetes tipo II (BRASIL-MS, 2010). Segundo Brand-Miller (2004), embora novas pesquisas sejam necessárias, as dietas com baixo índice glicêmico podem beneficiar a população em geral na prevenção ou no retardamento do desenvolvimento de doenças associadas à resistência insulínica.

As terapias nutricionais para pacientes com intolerância/alergia alimentar ou com doenças crônicas não transmissíveis como obesidade, diabetes, hipertensão e doenças cardiovasculares exigem informações que permitam uma dieta

específica e equilibrada. No caso da doença celíaca, por exemplo, até o presente momento têm sido discriminados apenas alimentos permitidos e não permitidos na dieta livre de glúten e pouca preocupação é dada à qualidade/adequação nutricional destas dietas. Estudos revelam que pacientes celíacos apresentam deficiências de fibras, minerais (ferro e cálcio), vitaminas, baixo índice de massa corporal e, quando a mulher é idosa tem menor conteúdo mineral ósseo que as não celíacas. As dietas para estes pacientes apresentam maior percentagem de calorias provenientes dos lipídios e proteínas do que dos carboidratos e, além disso, os produtos livres de glúten são elaborados com farinhas e/ou amidos refinados que não são fortificados como a farinha de trigo (ALVAREZ-JUBETE; ARENDT; GALLAGHER, 2009). Por causa da alta incidência do diabetes em indivíduos portadores da doença celíaca, é importante que estes pacientes aprendam a controlar a carga glicêmica da sua dieta como uma forma de prevenção e tratamento do diabetes.

Pelas dificuldades e pelo custo para avaliar o índice glicêmico em humanos, estudos sobre a digestão *in vitro* do amido nos alimentos têm sido promovidos para identificar e estimar os efeitos do amido no corpo humano. Englyst, Veenstra, Hudson (1996) propuseram a medida da glicose rapidamente disponível (GRD) como uma ferramenta para estimar a resposta glicêmica aos alimentos ricos em carboidratos. Goni, Garcia-Alonso e Saura-Calixto, (1997) sugeriram a utilização da equação de primeira ordem, a partir da cinética da digestão do amido, para estimar a resposta glicêmica *in vivo*.

A variabilidade da resposta glicêmica para alimentos ricos em amidos tem sido estudada com o interesse voltado particularmente para dietas de diabéticos. O índice glicêmico é uma forma de classificar alimentos de acordo com a resposta glicêmica que produzem, sendo que os alimentos de alto índice glicêmico são rapidamente digeridos e absorvidos, com maior efeito na glicemia e os de baixo índice (digestão lenta), com efeitos mais brandos na glicemia. Métodos *in vitro*, baseados na simulação da digestão no organismo, têm sido propostos para classificar e identificar os alimentos de digestão rápida, lenta e os resistentes a digestão. Assim estes métodos são úteis para estimar a resposta glicêmica do amido presente nos alimentos (AARATHI; UROOZ; SHASHIKALA, 2003).

Já a carga glicêmica fornece o resultado do efeito glicêmico da dieta porque avalia não só a qualidade, mas a quantidade do carboidrato a partir de uma determinada porção consumida da dieta. A determinação exata dos carboidratos

disponíveis de determinado produto permite ao profissional nutricionista elaborar regimes e orientar seus pacientes, seja para atletas ou para indivíduos com diabetes, hiperlipidemia e com desordem no metabolismo de carboidratos, sobre a resposta glicêmica por porção do alimento ingerido. Capriles; Guerra-Matias e Arêas (2009) informaram que o nutricionista pode utilizar, na falta de dados referentes à resposta glicêmica dos alimentos de interesse, a avaliação da digestibilidade dos carboidratos *in vitro* como uma ferramenta para investigação científica dos alimentos utilizados no planejamento dietético superando a tradicional informação da quantidade de carboidratos e fibras presentes nos alimentos, disponível atualmente em tabelas nacionais de composição de alimentos.

O amaranto é um pseudocereal rico em carboidratos (principalmente amido), lipídios (prevalência de ácidos graxos insaturados), proteínas de boa qualidade biológica (adequado balanço aminoacídico e boa digestibilidade) e fibras alimentares, contendo ainda adequados níveis de micronutrientes como vitaminas, minerais e de componentes bioativos como esqualeno e fitoesteróis (AMAYA-FARFAN, MARCÍLIO, SEPHAR, 2005). Tapia-Blácido, Sobral e Menegalli (2010) consideram o amaranto uma promissora matéria-prima para produção de amidos, concentrados proteicos e farinhas.

O amido do amaranto está estocado principalmente no perisperma do grão (IRVING; BETSCHART; SAUNDERS, 1981). A forma do grânulo de amido do *A. cruentus* foi caracterizada como poligonal e seu tamanho varia de 0,75 a 1,5 um de diâmetro (HOOVER; SINNOTT; PERERA, 1998). A fração amilose está presente em menor quantidade, na faixa de 11,9 g/100g de farinha (TAPIA-BLÁCIDO; SOBRAL; MENEGALLI, 2010) enquanto no amido de milho é 26,3%.

Estudos mostraram que o amaranto reduziu os níveis de glicose e aumentou os de insulina no sangue em ratos diabéticos, sugerindo que o uso do grão poderá ser benéfico na correção de casos hiperglicêmicos e na prevenção de complicações advindas do diabetes (ALVAREZ-JUBETE; ARENDT; GALLAGHER, 2010). A influência do processamento dos grãos de amaranto no comportamento do amido foi estudada por Guerra-Matias e Arêas (2005), que mostraram uma resposta alta de índice glicêmico e uma grande capacidade de estimular a produção de insulina em mulheres que consumiram amaranto extrusado.

Neste estudo, avaliou-se a influência do tratamento térmico dos grãos na digestibilidade *in vitro* e no índice de hidrólise do amido das farinhas integrais de amaranto.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

As pipocas e as farinhas de grãos de amaranto in natura (FIAI), cozidos (FIAC), tostados (FIAT) e pipocados (FIAP) foram obtidas pelos processos descritos no Capítulo 4. As pipocas foram preparadas momento antes do início da análise e foram usadas inteiras.

### 6.2.1 Digestibilidade *in vitro* do amido

A digestibilidade do amido das pipocas, das farinhas integrais de grãos de amaranto *in natura* e tratados termicamente foi determinada seguindo a metodologia de Englyst, Kingman e Cummings (1992). Esta metodologia envolve a determinação da glicose livre (GL), glicose total (GT), glicose de digestão rápida (GRD), glicose de digestão lenta (GLD), amido total (AT), amido de digestão rápida (ARD), amido de digestão lenta (ALD) e do amido Resistente (AR).

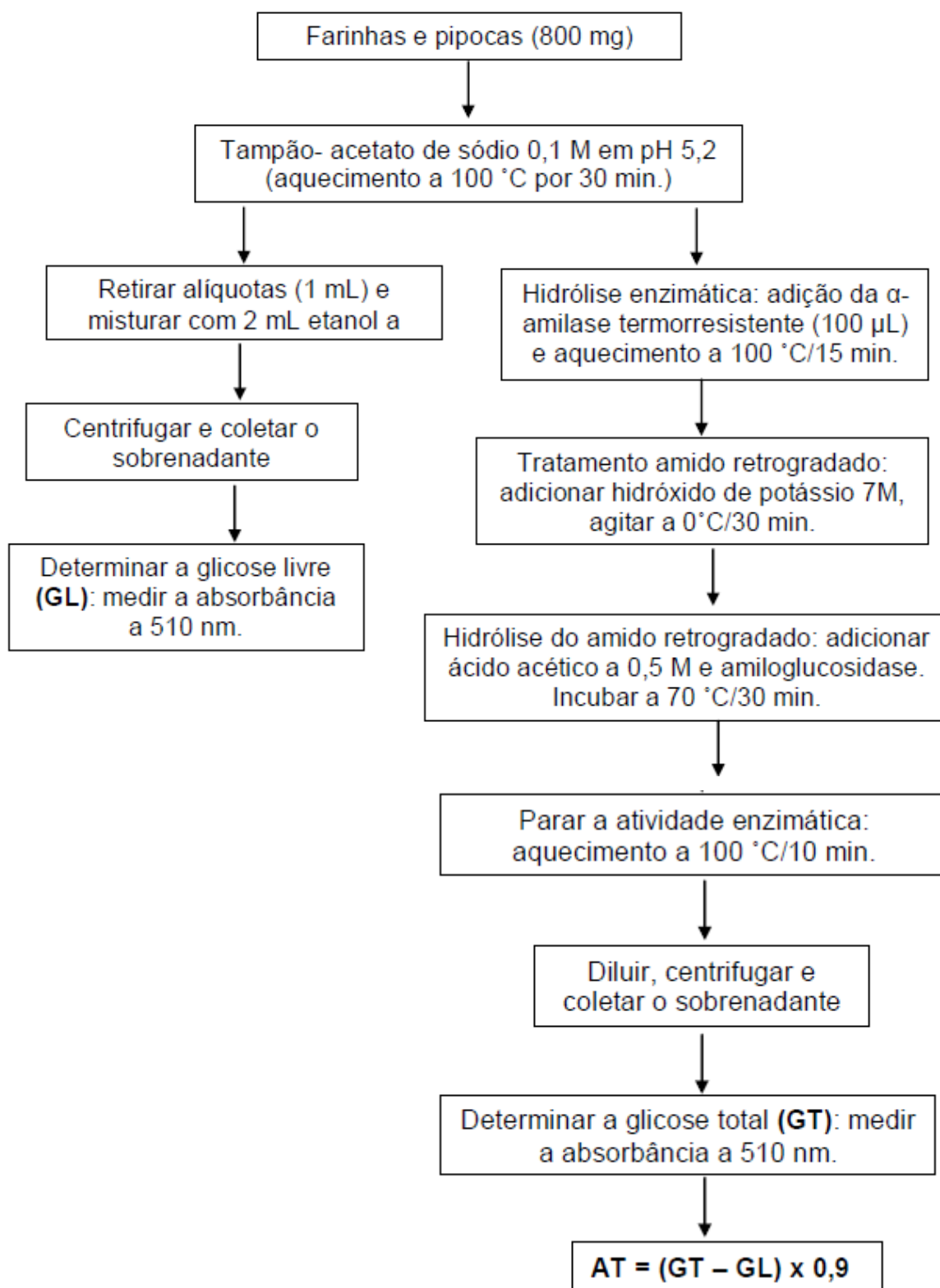
Para a determinação da GL e do AT, (Figura 6.1), foram utilizados 800 mg de pipocas, farinhas de amaranto e de amostra controle (farinha de pão francês sem casca) e incluíram, também, padrão de glicose (25mg/mL) e o branco para corrigir a glicose presente na solução de amiloglucosidase. Tanto o padrão quanto o branco foram tratados exatamente como as amostras. A GL foi determinada tratando cada amostra com tampão acetato de sódio 0,1 M em pH 5,2 e colocando os tubo no banho-maria a 100 °C por 30 min. A GT foi obtida pela hidrólise do amido com a alfa-amilase termorresistente (EC 232-560-9; A 3306; Sigma-Aldrich, St Louis, USA) em água fervente, seguida de tratamento com KOH (7 mol/L) a 0 °C, e posterior hidrólise enzimática com a amiloglicosidase EC 232.877-2. A 9913; Sigma-Aldrich, St Louis, USA). O material hidrolizado foi diluído e centrifugado a 1500 x G (Eppendorf, 5804R). A glicose liberada foi quantificada usando reagente glicose oxidase/peroxidase (GOD-PAP, Cat No. 06400; Laborlab; São Paulo, Brasil) e leitura em espectrofotômetro a 510 (BEL Photonics, SP 2000 UV; São Paulo; Brasil). As

análises foram realizadas em quadriplicatas. O AT foi calculado subtraindo a GL da GT e multiplicando o resultado por 0,9.

As várias frações do amido (ARD, ALD, AR) bem como as frações de glicose GRD e GLD foram determinadas por meio da incubação das amostras de pipocas, farinhas de amaranto e de controle (farinha de pão francês sem casca) com uma solução de enzimas: invertase (EC 3.2.1.26; 200000 SU/g; Novozymes A/S, Bagsvaerd, Denmark),  $\alpha$ -amilase pancreática (42500 BPU/g; Bio Case V, Thomas Laboratories, Arizona, USA) e solução de amiloglicosidase (EC 232.877-2. A 9913; Sigma-Aldrich, St Louis, USA) a 37 °C, em tubos tampados e imersos, horizontalmente, em banho com agitação (160 ciclos/min e curso de 35 mm), cujo fluxograma se encontra na Figura 6.2.

Os tubos continham, também, cinco esferas de vidro de diâmetro médio de 18 mm, cuja função foi facilitar a ação das enzimas que juntamente com a agitação do banho, simularam a digestão humana, já a goma guar (50 mg) foi adicionada com a finalidade de padronizar a viscosidade da mistura incubada.

**Figura 6.1** - Fluxograma para a determinação da glicose livre (GL) e do amido total (AT), segundo Englyst, Kingman e Cummings (1992).



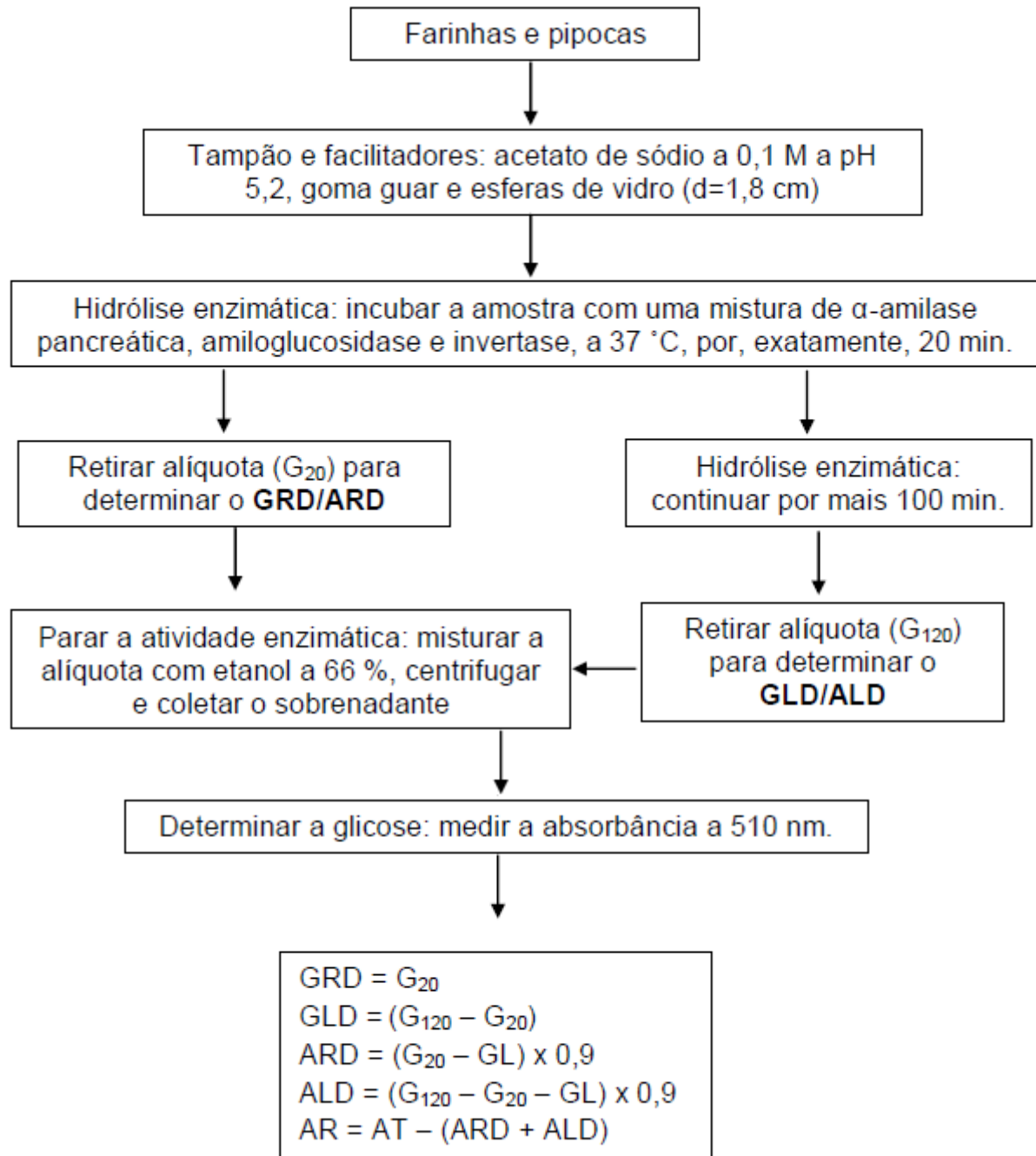
Testes simultâneos foram executados de forma semelhante com o padrão de glicose (25mg/mL) e com o branco contendo tampão, esferas de vidro e goma guar para corrigir a glicose presente na solução de amiloglicosidase.

No tempo exato de 20 minutos e 120 minutos, contados a partir da adição da solução de enzimas, foram retirados alíquotas de cada amostra, padrão e branco incubados para a leitura da glicose liberada: G20 e G120. A leitura da glicose foi realizada utilizando kit de glicose oxidase-peroxidase (GOD-PAP, Cat No. 06400; Laborlab; São Paulo, Brasil) e leitura em espectrofotômetro a 510 nm (BEL Photonics, SP 2000 UV; São Paulo; Brasil).

A glicose rapidamente disponível (GRD) foi determinada pela soma da G20 e GL. A glicose lentamente disponível (GLD) corresponde a glicose liberada no intervalo de 100 min, ou seja, o G120 - G20.

O ARD foi calculado pela correção do G20, pela glicose livre (GL) e multiplicando o resultado por 0,9 para converter a glicose em amido. O ALD corresponde a diferença entre os teores de glicose G120 e G20. A diferença foi multiplicada por 0,9 para converter a glicose em amido. O AR é o amido não hidrolisado após 120 minutos de incubação e foi determinado pela diferença entre amido total (AT) e a somatória do amido rapidamente e lentamente digerido (ARD+ALD). As análises foram realizadas em quadriplicatas.

**Figura 6.2** - Fluxograma para determinar a glicose e o amido rapidamente disponíveis (GRD/ARD), lentamente disponíveis (GLD/ALD) e do amido resistente à hidrólise enzimática (AR), segundo Englyst, Kingman e Cummings (1992).



### 6.2.2 Índice de hidrólise do amido

O índice de hidrólise (IH) do amido das pipocas, das farinhas integrais de grãos de amaranto (*in natura* e processados) e do controle foi conduzido aplicando a metodologia de hidrólise do amido de Englyst, Kingman e Cummings (1992), esquematizada na Figura 6.2. Os tempos de coleta do material hidrolisado para obtenção da curva de hidrólise foram de 20, 30, 60, 90, 120 e 180 min. A porcentagem de amido hidrolisado *versus* o tempo de hidrólise foi plotado em gráfico e as áreas sob as curvas obtidas foram determinada por meio da técnica de integração por trapézios. O IH foi calculado, segundo Goni, Garcia-Alonso e Saura-Calixto (1997), pela relação entre a área sob a curva de hidrólise do alimento teste e a área sob a curva do alimento controle (pão), conforme Equação [6.1].

$$\text{IH} = \frac{\text{Área sob a curva de hidrólise do alimento teste}}{\text{Área sob a curva do alimento padrão}} \quad [6.1]$$

### 6.2.3 Análise estatística

Resultados foram expressos em valores médios  $\pm$  desvio padrão de quatro determinações. Dados foram analisados usando análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas usando testes de Tukey a de 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ). A análise estatística foi realizada usando o aplicativo Minitab 13.1 (Minitab Inc., 2005).

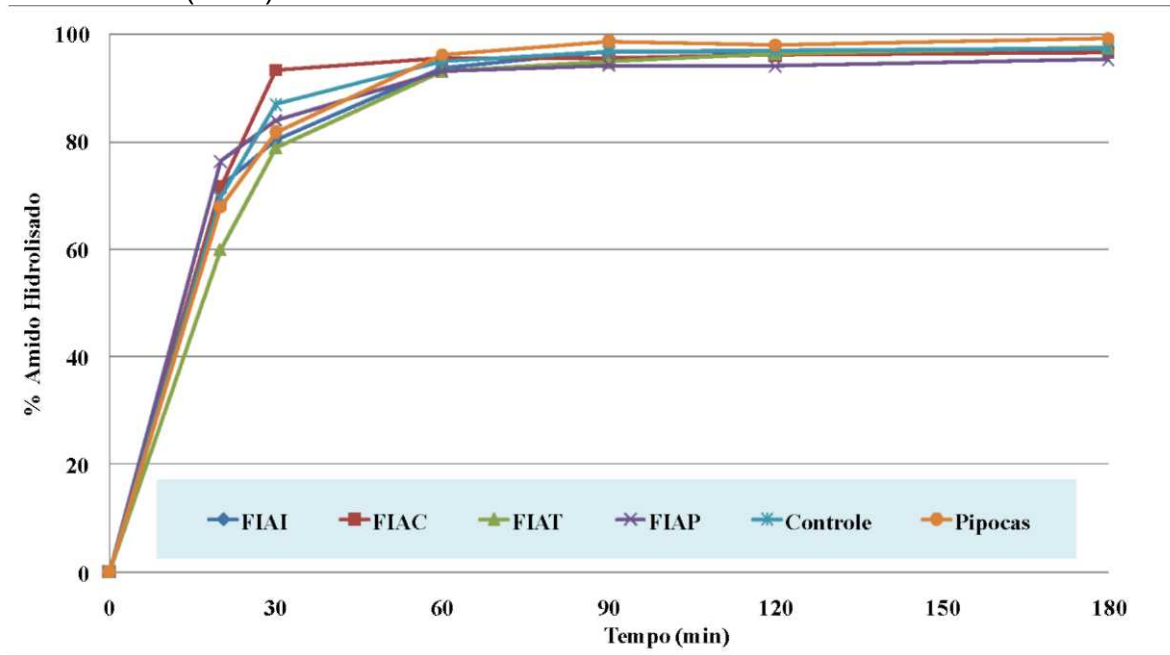
## 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.3.1 Hidrólise do amido das farinhas de grãos de amaranto

A porcentagem de amido hidrolisado em função do tempo de hidrólise (Figura 6.3) apresentou comportamento de uma hipérbole quadrada, semelhante à encontrada por Islas-Hernández et al. (2007), Guerra-Matias e Areas (2004); Goñi, Garcia-Alonso e Saura-Calixto (1997), com um rápido acréscimo na porcentagem de amido hidrolisado no início da reação (velocidade de reação alta) e com incrementos

cada vez menores (velocidade de reação baixa), quanto mais se aproximava do tempo final da reação.

**Figura 6.3** - Curva da hidrólise do amido das pipocas e das farinhas de grãos de amaranto *in natura* (FIAI), pipocados (FIAP), cozidos (FIAC) e tostados (FIAT).



A curva da percentagem de amido hidrolisado, em função do tempo de hidrólise, tem comportamento que pode ser comparado, por analogia, com o da velocidade de reação ( $V_0$ ), em função da concentração do substrato  $[S]$ , postulada por Michaelis e Menten (Equação 6.2).

$$V_0 = \frac{V_{\max}[S]}{K_m + [S]} \quad [6.2]$$

Em que:

$K_m$  = Constante de Michaelis-Menten;

$(V_0)$  = velocidade de reação; e

$[S]$  = concentração do substrato.

Esta equação foi reescrita, considerando-se a percentagem de amido hidrolisado (PAH) em função do tempo de reação (t), conforme Equação 6.3.

$$\mathbf{PAH} = \frac{\mathbf{MAH[t]}}{\mathbf{K + [t]}} \quad [6.3]$$

Em que: PAH = percentagem de amido hidrolisado;

MAH = máxima quantidade a ser hidrolisada de amido;

k = tempo necessário para hidrolisar 50% do amido presente na amostra

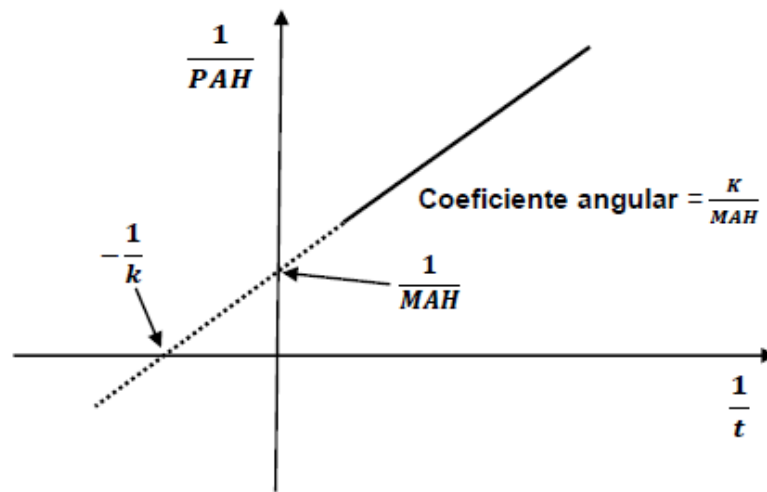
t = tempo de hidrólise.

A Equação 6.3 foi linearizada utilizando a técnica desenvolvida por Lineweaver-Burk, por meio da sua inversa, como se segue:

$$\frac{1}{\mathbf{PAH}} = \frac{\mathbf{k}}{\mathbf{MAH * t}} + \frac{1}{\mathbf{MAH}} \quad [6.4]$$

A linearização permitiu determinar graficamente a percentagem máxima de amido a ser hidrolisada (MAH) e o tempo (k) necessário para hidrolisar a metade do amido existente na amostra. Estas determinações foram possíveis por meio da curva 1/PAH versus 1/t, como ilustra a Figura 6.4.

**Figura 6.4** - Curva da inversa da percentagem de amido hidrolisado ( $1/PAH$ ) em função do inverso do tempo de hidrólise ( $1/t$ ).



A linearização de cada uma das quatro curvas obtidas (repetições) para cada farinha e pipocas estudadas foi feita e todas apresentaram elevado coeficiente de determinação da regressão, com valores de  $R^2$  médios, variando entre 0,75 e 0,98. Os resultados obtidos para a máxima quantidade de amido hidrolisado (MAH) e fator de hidrólise, para hidrolisar 50 % do amido presente na amostra, representado por  $k^{-1}$  se encontram na Tabela 6.1.

O menor fator de hidrólise foi obtido para a FIAT ( $k^{-1} = 0,0626$ ) o que representa um tempo de 16,02 min. para que 50% do amido presente nesta farinha tenha sido hidrolisado. Isto demonstra que o tratamento térmico dado aos grãos de amaranto para produzir esta farinha foi capaz de reduzir a velocidade de digestão do amido de amaranto, em relação à FIAI ( $k^{-1} = 0,1026$ ). O tratamento térmico para produzir a FIAT dificultou o ataque dos grânulos de amido pelas enzimas provavelmente devido às modificações dos componentes superficiais dos grãos (fibras, lipídios, proteínas). A FIAT foi produzida por meio de calor seco (150 °C) e baixa umidade do grão (aproximadamente 11%). Esta quantidade de água e o tempo de processamento (60 s) não foram suficientes para produzir a gelatinização total do amido, descartando-se a ocorrência de retrogradação. Singh, Dartois e Kaur (2010) relataram que a gelatinização incompleta do amido pode aumentar sua resistência à hidrólise enzimática.

**Tabela 6.1** Efeito dos tratamentos térmicos na percentagem máxima de amido hidrolisado (MAH) e no fator de hidrólise do amido ( $k^{-1}$ ) de pipocas e de farinhas de grãos de amaranto.

Amostra	MAH (%)	$k^{-1}$ (min <sup>-1</sup> )
FAI	106,1 ± 1,09 <b>c</b>	0,1026 ± 0,006 <b>bc</b>
FIAT	112,7 ± 1,91 <b>a</b>	0,0626 ± 0,003 <b>a</b>
FIAC	104,4 ± 1,04 <b>cd</b>	0,1354 ± 0,020 <b>cd</b>
FIAP	100,0 ± 0,82 <b>d</b>	0,1664 ± 0,014 <b>d</b>
Pipocas	109,7 ± 4,24 <b>abc</b>	0,0879 ± 0,012 <b>bc</b>
Controle	107,0 ± 2,38 <b>bc</b>	0,1081 ± 0,021 <b>b</b>

<sup>†</sup> Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Média dos dados calculados em base seca ± desvio padrão de quatro repetições.

FAI - farinha integral de grãos de *in natura*; FIAC - farinha integral de grãos cozidos; FIAT - farinha integral de grãos tostados; e FIAP - farinha integral de grãos pipocados.

A FIAP, por sua vez, apresentou o maior valor de " $k^{-1}$ " (0,1664), demonstrando que a expansão termoplástica produzida pelo pipocamento modificou o amido, que, associada ao processo de moagem e ao armazenamento sob refrigeração, tornou esta farinha mais susceptível ao ataque enzimático acelerando a digestão do amido, com um tempo de apenas 6,0 min. para hidrolisar 50% do amido presente nesta farinha. De maneira semelhante se comportou a FIAC, uma vez que o cozimento por ebulição dos grãos possibilitou a digestão de 50% do amido contido nesta farinha em apenas 7,5 min. ( $k^{-1} = 0,1354$ ). Englyst et al. (2003) afirmaram que o cozimento em excesso de água em altas temperaturas, por tempo prolongado, causa gelatinização e destruição dos grânulos de amido, facilitando o ataque da  $\alpha$ -amilase pancreática resultando na liberação rápida da glicose. A digestão destas duas últimas farinhas foi mais rápida, enquanto que a da FIAT foi mais lenta em relação a do controle.

As pipocas apresentaram valor de " $k^{-1}$ " inferior ao da FIAP, demonstrando que as taxas iniciais de hidrólise do amido foram inferiores para as pipocas (inteira e recém preparada) indicando que a moagem e o armazenamento das pipocas facilitaram o ataque enzimático ao amido. A FIAT foi a única farinha entre as estudadas que apresentou fator de hidrólise para a metade do amido, estatisticamente inferior ao controle. Por outro lado, as FIAP e FIAC apresentaram " $k^{-1}$ " superiores ao

controle. A FIAP e a pipoca fator de hidrólise para 50% amido estatisticamente iguais ao do controle.

Os resultados obtidos para " $k^{-1}$ " mostram que este fator é um forte indicador da taxa de digestão inicial do amido do alimento e se for relativizado, em função do tempo total de hidrólise, passa ser independente do método de digestão. Desta forma ele pode se tornar uma ferramenta importante na prescrição de dietas onde é necessário o controle do aporte de glicose e dos picos glicêmico. Para a confirmação desta afirmação há necessidade de estudos mais abrangentes, envolvendo outros alimentos.

Os valores da percentagem máxima de amido hidrolisado (MAH) deveriam ser de no máximo 100 %, mas o que se observa na Tabela 6.1 é que todas as amostras, com exceção da FIAP, apresentaram valores um pouco superiores. Estas diferenças se devem ao ajuste das equações obtidas pelo modelo matemático adotado (Michaelis-Menten/Lineweaver-Burk) e aos erros experimentais, que neste caso têm efeito cumulativo.

### 6.3.2 Digestibilidade do amido das farinhas de grãos de amaranto

A digestibilidade do amido foi avaliada utilizando os conceitos de índice de hidrólise (IH), glicose rapidamente disponível (GRD), glicose lentamente disponível (GLD) e a relação entre estas duas últimas (GRD/GLD). Os resultados obtidos para estas determinações são encontrados na Tabela 6.2.

A FIAP foi a farinha que apresentou o maior valor de GRD entre os produtos estudados, podendo está pronta disponibilidade ser atribuída à modificação termoplástica do amido causada pelas condições de pipocamento, que o tornou facilmente hidrolisado pela enzima. Por consequência, o teor de GLD obtida na FIAP é inferior o encontrado nas demais farinhas, ao controle e aos grãos de pipocas. Esta farinha, pela sua elevada quantidade de amido rapidamente digerível, pode ser indicada para pessoas saudáveis que tenham elevada atividade física, como os atletas.

A FIAT apresentou o menor valor de GRD e, conseqüentemente, maior valor de GLD entre as farinhas e pipocas, mostrando que a técnica adotada para tostar os grãos de amaranto foi capaz de tornar parte do seu amido mais resistente ao ataque enzimático (Tabela 6.3). A relação entre GRD/GLD encontrada

na FIAT é inferior a todos os outros tratamentos e indica que para cada 1,8 g de glicose rapidamente disponível, esta farinha dispõe de 1,0 g de glicose que será disponibilizada mais lentamente. No caso da FIAP, esta relação foi a maior de todas, chegando a 4,2. Do ponto de vista nutricional, quanto menor a relação GRD/GLD, melhor será a qualidade do amido, pois mostra que o amido será hidrolisado gradativamente, evitando picos glicêmicos logo após a ingestão. Segundo Englyst et al. (2003) o conteúdo alto de GLD implica em baixo índice glicêmico para alimentos que são ricos em hidratos de carbono, os quais serão liberado lentamente para benefícios da saúde do consumidor.

**Tabela 6.2** Índice de hidrólise *in vitro* a 20 minutos (IH<sub>20</sub>), glicose rapidamente disponível (GRD) e lentamente disponível (GLD) do amido de pipocas e de farinhas de grãos de amaranto.

Produtos	IH <sub>20</sub>	GRD (g/100g)	GLD (g/100g)	GRD/GLD
FIAI	101,7 ± 3,71 <sup>ab</sup>	49,01 ± 0,72 <sup>b</sup>	17,89 ± 0,92 <sup>c</sup>	2,7
FIAC	103,0 ± 7,44 <sup>ab</sup>	49,93 ± 2,25 <sup>b</sup>	17,08 ± 1,77 <sup>c</sup>	2,9
FIAT	86,2 ± 2,33 <sup>c</sup>	42,65 ± 0,75 <sup>c</sup>	24,27 ± 0,99 <sup>a</sup>	1,8
FIAP	109,8 ± 6,73 <sup>a</sup>	54,21 ± 1,73 <sup>a</sup>	12,91 ± 1,22 <sup>d</sup>	4,2
Pipoca	97,5 ± 3,37 <sup>b</sup>	48,30 ± 0,70 <sup>b</sup>	20,85 ± 0,85 <sup>b</sup>	2,3
Controle	100,00 <sup>ab</sup>	51,49 ± 0,79 <sup>ab</sup>	23,89 ± 1,63 <sup>a</sup>	2,2

<sup>a</sup>Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Média dos dados calculados em base úmida ± desvio padrão de quatro repetições. FIAI - farinha integral de grãos de *in natura*; FIAC - farinha integral de grãos cozidos; FIAT - farinha integral de grãos tostados; e FIAP - farinha integral de grãos pipocados.

A GRD é resultado da soma da glicose liberada durante a hidrólise do amido no intervalo de 20 minutos e dos açúcares livres presentes no produto. Desta forma, sua determinação com vistas a avaliar a glicose rapidamente disponível é mais adequada para os alimentos que possuem quantidades apreciáveis de açúcares simples em sua composição. As farinhas e a pipoca estudadas não possuíam quantidades apreciáveis de açúcares simples, pois a pipoca apresentou 0,77% de glicose livre e, entre as farinhas de amaranto, apenas na FIAI foi encontrada 1,32% de glicose livre.

Observa-se que a FIAT apresentou os menores valores de GRD e IH<sub>20</sub>, por outro lado, a FIAP apresentou os maiores valores de GRD e IH<sub>20</sub> (Tabela

6.2). A comparação entre os valores de GRD e " $k^{-1}$ " para as farinhas integrais, pipoca de amaranto e controle demonstrou que a correlação entre eles é alta e inversamente proporcional ( $r = -0,89$ ;  $p$ -valor  $< 0,01$ ), indicando que tanto os valores de GRD quanto de " $k^{-1}$ " podem ser utilizados na estimativa da glicose rapidamente disponível.

Englyst et al. (1999) estudando vários alimentos ricos em amido verificaram que as medidas *in vitro* de GRD apresentaram correlação altamente significativa ( $r=0,981$   $P < 0,0001$ ) com as respostas glicêmicas obtidas em adultos, concluindo que a simples medida *in vitro* de GRD e GLD poderia servir como ferramenta para investigar a importância da quantidade, tipo e forma dos carboidratos da alimentação para saúde. Garsetti et al. (2005) estudando vários biscoitos doces verificaram que os biscoitos têm baixo índice glicêmico e moderado índice insulínico e que estas características estão correlacionadas com a digestibilidade *in vitro* do amido (GRD e GLD) e que dependem do tipo de processamento.

Outra maneira de determinar a digestão das diferentes frações do amido presentes no alimento é quantificar os valores de amido rapidamente digerível (ARD), lentamente digerível (ALD) e o amido resistente (AR). Os valores para estas frações, obtidas por hidrólise enzimática das farinhas de amaranto e das pipocas recém-preparadas, comparados com o controle, se encontram na Tabela 6.3.

O conteúdo médio de amido total das pipocas e das farinhas integrais de amaranto foi da ordem de 63 % inferior ao encontrado para o controle. As farinhas de amaranto, de um modo geral, apresentaram digestibilidade superior ao controle com valores de ARD de 70 % em relação ao amido total, enquanto que para o controle essa relação foi de 67,7 %. A alta digestibilidade do amido das farinhas de grãos de amaranto *in natura* e processados pode estar relacionada com vários fatores que facilitam o ataque das enzimas às ligações glicosídicas durante a hidrólise, tais como grânulo de amido de tamanho reduzido (0,75 a 1,5  $\mu$ m de diâmetro), menor conteúdo de amilose (11,8 %), técnicas utilizadas no processamento e moagem dos grãos. Além disso, Tapia-Blácido; Sobral; Menegalli (2010) relataram que a farinha de *A. cruentus* apresentou uma maior aglomeração de grânulos de amido, indicando maior interação entre proteína e amido e Singh; Dartois; Kaur (2010) informaram que as frações de proteínas como a albumina, globulinas e gluteninas ajudam na adesão de corpos proteicos em torno grânulos de amido agindo como uma barreira ao acesso das  $\alpha$ -amilase.

**Tabela 6.3** - Efeitos dos tratamentos térmicos sobre as frações do amido das pipocas e farinhas de grãos de amaranto<sup>1</sup>.

Produtos	Fração de amido (g/100g)			Amido Total (AT) (g/100g)
	ARD	ALD	AR	
FIAI	45,1 ± 0,68 c	16,9 ± 0,87 bc	1,7 ± 0,16 c	63,4 ± 0,34 b
FIAC	45,3 ± 2,04 c	15,5 ± 1,61 c	2,5 ± 0,48 b	63,2 ± 1,19 b
FIAT	38,3 ± 0,68 d	21,8 ± 0,89 a	3,2 ± 0,23 a	63,2 ± 0,99 b
FIAP	48,2 ± 1,54 b	11,5 ± 1,90 d	3,7 ± 0,31 a	63,3 ± 1,87 b
Pipoca	42,8 ± 0,63 c	18,8 ± 0,76 b	1,4 ± 0,26 c	62,8 ± 2,06 b
Controle	51,4 ± 0,78 a	23,8 ± 1,63 a	1,6 ± 0,22 c	75,9 ± 0,29 a

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Média dos dados calculados em base seca + desvio padrão de quatro repetições. ARD - Amido de rápida digestão; ALD - amido de lenta digestão; AR - amido resistente a digestão. FIAI - farinha integral de grãos de *in natura*; FIAC - farinha integral de grãos cozidos; FIAT - farinha integral de grãos tostados; e FIAP - farinha integral de grãos pipocados.

As proporções das frações do amido foram diferentes entre os produtos analisados. A fração ARD apresentou a seguinte escala decrescente: Controle > FIAP > FIAI = FIAC = pipoca > FIAT. Para a fração ALD, a escala dos valores observados foi: FIAT = Controle > Pipoca = FIAI = FIAC > FIAP. Por fim, a fração AR seguiu a escala decrescente: FIAP = FIAT > FIAC > FIAI = Pipoca = Controle.

Os teores de AT encontrados para o controle, Tabela 6.3, são compatíveis com os obtidos por Capriles et al. (2008) que foi de 83,39% e os obtidos por Rosin, Lajolo e Menezes (2002), que foi de 81,33%. No caso das farinhas integrais os resultados obtidos para AT também são comparáveis com os encontrados pelos primeiros autores. A pequena divergência que existe entre os valores apresentados nos diferentes trabalhos para o controle pode estar associada ao método de determinação do amido e aos vários fatores inerentes ao fabrico do pão (formulação, ingredientes e processamento).

As etapas para a produção da FIAC não aumentaram os conteúdos de ARD e ALD, mas aumentou o AR, comparados ao da FIAI. A forma dos amidos resistentes presentes nestas farinhas são diferentes. Na FIAI o AR é de origem nativa (AR tipo 1), na FIAC o amido resistente é resultado do fenômeno de retrogradação do amido gelatinizado (AR tipo 3) desenvolvido após o cozimento com excesso de água, resfriamento e secagem dos grãos a 35 °C ± 2 °C em estufa. Segundo Singh, Dartois

e Kaur, (2010), após a gelatinização e resfriamento do amido cozido, a recristalização das cadeias de amido se inicia, sendo que a agregação e cristalização da amilose começam no princípio do resfriamento e a agregação e cristalização da amilopectina ocorre mais tarde, durante o armazenamento sob refrigeração. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento do AR na FIAC é o armazenamento sobre refrigeração, pois de acordo com Agama-Acevedo et al., 2004; Mora-Escobedo et al., 2004 o armazenamento refrigerado influenciou a digestibilidade *in vitro* do amido de milho reduzindo o teor de amido disponível com concomitante aumento dos níveis de AR.

A diferença entre a digestibilidade das pipocas e da FIAP pode ser explicada pelas etapas de moagem e armazenamento das farinhas. A moagem tem por finalidade fragmentar o material, diminuindo o tamanho das partículas, desestruturarem as paredes celulares e aumentar a superfície de exposição dos grânulos de amido podendo aumentar o acesso físico da enzima ao amido acelerando a digestão (LEHMANN; ROBIN, 2009). Por outro lado, o aumento da fração de amido resistente (AR) na FIAP em relação às pipocas recém preparadas pode estar relacionado também à retrogradação do amido causada pelo armazenamento refrigerado (4 °C a 8 °C), no período entre sua produção e utilização na análise.

O método utilizado para produzir a FIAT apresentou resultados mais interessantes do ponto de vista dietético, pois aumentou, consideravelmente, o conteúdo de ALD e AR e reduziu o conteúdo de ARD em relação à FIAI. A FIAP, por sua vez, já não apresentou o mesmo efeito benéfico, pois foi capaz de elevar, consideravelmente, a quantidade de amido resistente, mas aumentou, também, a fração de ARD. O ALD é a fração de amido que apresenta uma hidrólise lenta, mas completa no intestino delgado, enquanto a fração de amido resistente é parte do amido que não pode ser hidrolisado pelas enzimas do intestino humano, considerado por vários cientistas como fibra. A vantagem fisiológica do ALD em relação ao amido rapidamente digerível reside na sua propriedade como fonte de glicose sustentada e seu efeito estabilizador sobre o nível de glicose no sangue, resultando em perfil hormonal e metabólico distinto. Os benefícios deste tipo de amido podem estar ligados à dieta de pacientes com diabete e aos efeitos sobre a saciedade do indivíduo. A fração ALD, considerada a fração de digestão lenta, oferece vantagem de aumentar gradualmente o aporte de glicose pós-prandial no sangue, mantendo e sustentando os níveis de glicose por um tempo maior quando comparado com a fração ARD, que promove a formação de rápidos e elevados picos de glicose, seguido de um rápido

declínio, chegando praticamente na linha basal. Outro benefício é o impacto moderado desta fração no índice glicêmico (LEHMANN; ROBIN, 2007).

A vantagem da fração AR é que esta fração se comporta fisiologicamente como a fibra alimentar e tem os benefícios fisiológicos da fibra solúvel tais como redução dos níveis séricos de colesterol e triglicérides, diminuição do atrofiamento das células epiteliais do cólon e redução da liberação da glicose no sangue evitando picos glicêmicos (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006).

A técnica adotada para tostar os grãos neste estudo não foi suficiente para desnaturar todas as proteínas, mas alterou de alguma forma a estrutura do grão, dificultando o ataque das enzimas amilolíticas durante a hidrólise do amido. Conforme Crowe, Seligman e Copeland (2002), na presença de ácidos graxos, a formação de complexo de amilose com lipídios pode resultar em mudanças significativas no comportamento do amido, incluindo decréscimo da solubilidade, aumento da temperatura de gelatinização e resistência para a ação da enzima digestiva.

Englyst et al. (2003) relataram que o grupo de biscoitos com níveis de umidade mais baixa, durante o tratamento térmico, o grau de gelatinização foi reduzido e os grânulos de amido parcialmente intactos coexistiram no meio dos gelatinizados, elevando o teor de ALD e apresentando baixo índice glicêmico em relação aos outros produtos de panificação. Estudos desenvolvidos por Capriles et al. (2008); Guerra-Matias e Arêas (2004), com processamento dos grãos de amaranto cozidos, estourados, tostados e extrusados, mostraram que as várias condições de tratamentos térmicos não afetaram os conteúdos de amido total e disponível, mas alteraram o de amido resistente, sendo que o cozido apresentou o menor teor e o tostado o maior valor significativo em relação ao *in natura*. O surgimento de AR nos grãos de amaranto tratados termicamente ainda não é compreendido e, segundo Capriles et al. (2008), futuras investigações ao nível granular e molecular deverão ser empreendidas para entender as mudanças ocorridas no conteúdo de AR durante os tratamentos térmicos dos grãos de amaranto.

Atualmente a recomendação nutricional de consumo de alimentos com baixo índice glicêmico não é só direcionado às pessoas com diabete, mas à população em geral, com a finalidade de prevenir ou retardar o desenvolvimento de doenças ligadas ao metabolismo do açúcar e à produção de insulina. No entanto, Englyst et al. (1996) afirmam que o índice glicêmico não deve ser utilizado para comparação direta dos alimentos sobre uma mesma base de peso, pois é também

necessário conhecer a quantidade de carboidratos na porção de alimentos, ou seja a carga glicêmica. No entanto, Englyst et al (1999) afirmaram que ARD e GRD podem ser utilizados diretamente para comparar alimentos em uma mesma base de peso, ou seja, podem ser empregados como ferramenta para conhecer a carga glicêmica. O valor de GRD pode ser utilizado para calcular a soma da provável quantidade de glicose que será absorvida rapidamente a partir da identidade e pesos dos alimentos que compõe uma dieta. A utilização do GRD em substituição ao ARD estende-se à análise *in vitro* de alimentos não amiláceos, já que a determinação do GRD não é limitada pela fonte da glicose.

A literatura dispõe de grande quantidade de informações que avaliam a velocidade de digestão do amido e a sua fração resistente presente em alimentos, no entanto, torna-se difícil a comparação dos resultados, considerando as diferentes metodologias adotadas pelos autores. Assim, a adoção de um método padrão para análise destes componentes facilitaria a comparação dos resultados obtidos pelos diferentes autores. Estudos futuros também devem ser empreendidos para investigar os efeitos de processamentos térmicos como produção de flocos, tostagem e pipocamento na digestibilidade do amido de farinhas de amaranto.

## 6.4 CONCLUSÃO

A tostagem dos grãos foi o tratamento térmico que favoreceu maior formação de GLD/ALD e menor de GRD/ARD e conseqüentemente menor proporção entre glicose rapidamente e lentamente disponível. O pipocamento dos grãos seguido da moagem foi o processamento que apresentou maior quantidade de amido de digestão rápida em comparação com os demais produtos. As FIAT e FIAP apresentaram os maiores valores de AR.

## 6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARATHI, A.; UROOJ, A.; PUTTARAJ, S. *In vitro* starch digestibility and nutritionally important starch fractions in cereals and their mixtures. **Starch/Stärke**, v. 55, p. 9499, 2003.

AGAMA-ACEVEDO, E.; RENDÓN-VILLALOBOS, R.; TOVAR, J.; PAREDES-LÓPEZ, O.; ISLAS-HERNÁNDEZ, J. J.; BELLO-PÉREZ, L. A. *In vitro* starch digestibility changes during storage of maize flour tortillas. **Nahrung/Food**, v. 48, n. 1, p. 38-42, 2004.

ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. **International Journal of Food Science and Nutrition**, v. 60 n. S4, p. 240-257, 2009.

ALVAREZ-JUBETE, L.; ARENDT, E. K.; GALLAGHER, E. Nutritive value and pseudocereal and their increasing use as functional gluten-free ingredients. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, p. 106-113, 2010.

AMAYA-FARFAN, A.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C.R. A proposta do amaranto. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v.12, n.1, p.47-56, 2005.

BRAND-MILLER, J. Postprandial glycemica, glycemic index, and the prevention of type 2 diabetes. **American Journal Clinical Nutrition**, v. 80, p. 243-244, 2004.

BRASIL - Ministério da Saúde. Ministério da Saúde mobiliza população no Dia Mundial e Nacional do Diabetes, 2010. Disponível em:  
[http://portal.saude.gov.br/portal/aplicacoes/noticias/default.cfm?pg=dspDetalheNoticia&idarea=124&CO\\_NOTICIA=11897](http://portal.saude.gov.br/portal/aplicacoes/noticias/default.cfm?pg=dspDetalheNoticia&idarea=124&CO_NOTICIA=11897). Acesso em 05/2011.

CAPRILES, V. D.; COELHO, K. D.; GUERRA-MATIAS, A. C.; ARÊAS, J. A. G. Effects of processing methods on amaranth digestibility and predicted glycemic index. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 7, p. H160-H164, 2008.

CAPRILES, V. D.; GUERRA-MATIAS, A. C.; ARÊAS, J. A. G. Marcador *in vitro* da resposta glicêmica dos alimentos como ferramenta de auxílio a prescrição e avaliação de dietas. **Revista de Nutrição**, v. 22, n. 4, p. 549-557, 2009.

CROWE, T. C.; SELIGMAN, S. A.; COPELAND, L. Inhibition of enzymic digestion of amylose by free fatty acids *in vitro* contributes to resistant formation. **Journal of Nutrition**, v. 130, p. 2006-2008, 2000.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, Suppl. 2, p. 33-50, 1992.

ENGLYST, H. N.; VEENSTRA, J.; HUDSON, G. J. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential *in vitro* predictor of the glycemic response. **British Journal of Nutrition**, v. 75, p. 327-337, 1996.

ENGLYST, K. N.; ENGLYST, H. N.; HUDSON, G. J.; COLE, T. J.; CUMMINGS, J. H. Rapidly available glucose in foods: an *in vitro* measurement that reflects the glycemic response. **American Journal Clinical Nutrition**, v. 69, p. 448-454, 1999.

ENGLYST, K. N.; VINOYL, S.; ENGLYST, H. N.; LANG, V. Glycemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. **British Journal of Nutrition**, v. 89, p. 329-339, 2003.

GARSETTI, M.; VINOY, S.; LANG, V.; HOLT, S.; LOYER, S.; BRAND-MILLER, J. The glycemic and insulinemic index of plain sweet biscuits: relationships to *in vitro* starch digestibility. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 24, n. 6, p.441-447, 2005.

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, n 3, p 427-437, 1997.

GUERRA-MATIAS, A. C.; AREAS, J. A. G. Cinética de hidrólise do amido de produto extrusado (snack) à base de amaranto (*Amaranthus cruentus* L). **Journal Brazilian Food Nutrition**, São Paulo, v.27, p. 43-54, jun., 2004.

GUERRA-MATIAS, A. C.; AREAS, J.A.G. Glycemic and insulinemic responses in women consuming extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L). **Nutrition Research**, v.25, p.815-822, 2005.

HOOVER, R.; SINNOTT, A. W.; PERERA, C. Physicochemical characterization of starches from *Amaranthus cruentus* grains. **Starch/Stärke**, v. 50 n. 11-12, p. 456-463, 1998.

IRVING, D. W.; BETSCHART, A. A.; SAUNDERS, R. M. Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. **Journal of Food Science**, Chicago, v.46, n.4, p. 1170-1174, 1981.

ISLAS-HERNÁNDEZ, J. J.; RENDÓN-VILLALOBOS; J. R.; AGAMA-ACEVEDO, E.; TOVAR, J.; BELLO-PÉREZ, L. A. Chemical composition and *in vitro* starch digestibility of corn tortillas with added amaranth flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, p. 2348-2352, 2007.

LEHMANN, V.; ROBIN, F. Slowly digestible starch its structure and health implications: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v.18, p.346-356, 2007.

MORA-ESCOBETO, R.; OSORIO-DIAZ, P.; GARCIA-ROSAS, M. I.; BELLO-PÉREZ, A.; ISLA-HERNÁNDEZ, J. J. Changes in selected nutrients and microstructure of white starch quality maize and common maize during tortilla preparation and storage. **Food Science Technology International**, v. 10, n. 2, p. 79-87, 2004.

ROSIN, P. M.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Measurement and characterization of dietary starches. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 15; p. 367-377, 2002.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, E. S.; KULKARMI, P. R. Resistant starch - a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 5; p. 1-17, 2006.

SINGH, J.; DARTOIS, A.; KAUR, L. Starch digestibility in food matrix: a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, p. 168-180, 2010.

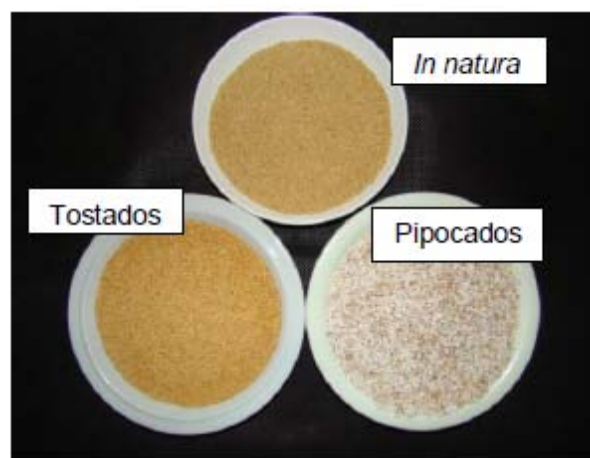
TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Potential of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria in the production of flour, starch and protein concentrate: chemical, thermal and rheological characterization. **Journal Science Food Agriculture**, v. 90, p. 1185-1193, 2010.

**ANEXO**

ANEXO A  
Figuras diversas do trabalho de tese



Grãos *in natura* de amaranto (mm)



Grãos *in natura*, tostados e pipocados



Ração para ratos: aptoteica



Ração para ratos: caseina



Ração para ratos: FIAC



Ração para ratos: FIAT



**Ração para ratos: FIAI**



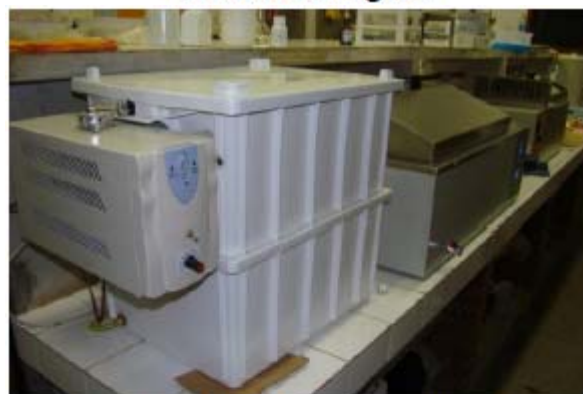
**Ração para ratos: FIAT**



**Ensaio Biológico**



**Gailas metabólicas**



**Banho de gelo com agitação**



**Banho maria com agitação**



**Banho de gelo com agitação**