



**ANDERSON FELICORI FERNANDES**

**UTILIZAÇÃO DE CONCENTRADO E DE  
ISOLADO PROTEICO DE SORO LÁCTEO NA  
EXTRUSÃO DE MILHO**

**LAVRAS – MG  
2011**

**ANDERSON FELICORI FERNANDES**

**UTILIZAÇÃO DE CONCENTRADO E DE ISOLADO PROTEICO DE  
SORO LÁCTEO NA EXTRUSÃO DE MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Orientadora  
Dra. Joelma Pereira

Co-orientador  
Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho

**LAVRAS – MG  
2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Fernandes, Anderson Felicori.

Utilização de concentrado e de isolado proteico de soro lácteo na  
extrusão de milho / Anderson Felicori Fernandes. – Lavras : UFLA,  
2011.

278 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Joelma Pereira.

Bibliografia.

1. Extrusão de alimentos. 2. Pellet. 3. Snack. I. Universidade  
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.725

**ANDERSON FELICORI FERNANDES**

**UTILIZAÇÃO DE CONCENTRADO E DE ISOLADO PROTEICO DE  
SORO LÁCTEO NA EXTRUSÃO DE MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 16 de dezembro de 2010.

Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho      EMBRAPA

Dr. José Luis Ramirez Ascheri                EMBRAPA

Dr. Luiz Ronaldo de Abreu                    UFLA

Dra Ana Carla Marques Pinheiro            UFLA

Dra. Joelma Pereira  
Orientadora

**LAVRAS – MG  
2010**

A Deus, presença constante em meu caminho.

Aos meus pais, Antonio (*in memoriam*) e Gláucia.

À minha irmã, Alessandra, pelo seu carinho, confiança e apoio

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades em minha vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de realização do curso.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, por ceder suas instalações e equipamentos para a realização das análises.

À Profa. Dra. Joelma Pereira, pelos seus ensinamentos, incentivo, confiança, orientação e amizade.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro por meio de bolsa de estudos.

Ao Pesquisador, Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho, pelas orientações, ensinamentos e amizade.

Ao Pesquisador, José Luiz Ascheri, pelas orientações, amizade e disponibilidade de fazer parte da banca examinadora.

Ao Prof., Dr Luiz Ronaldo de Abreu, pelas orientações, ensinamentos, disponibilidade e amizade.

À Profa., Dra Ana Carla Marques Pinheiro, pelas orientações, disponibilidade e amizade

À Profa., Dra. Maria de Fátima Pícolo Barcelos, pelas orientações, amizade e apoio.

Aos professores, Dra. Rosemary Gualberto, Dr. Carlos José Pimenta e Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas, pela colaboração.

Aos funcionários da UFLA: Rafaela, Lucilene, Flávia e Sr. Miguel, pelo bom convívio e amizade e, especialmente, às laboratoristas, Tina e Cleuza, pela atenção, orientação e amizade.

À toda equipe da Embrapa: Tânia, Sidnéia, Flávia, André, João Oiano, Rosires, Aline, José Carlos, David, Tatiana, Francisco, Sidney, Ronoel e, em

especial, à Adriana Minguita e Vanessa Fiuza, pelas orientações, disponibilidade e amizade.

A todos os colegas que colaboraram com meu trabalho durante minha estadia na Embrapa: Juan, Geisa, Carla Teba, Sabrina, Rômulo, Gustavo e, em especial, ao Leonardo e Fábio pela disponibilidade e amizade.

À Dona Francisca e Sr Francisco, que me acolheram, durante minha estadia no Rio de Janeiro, pelo carinho, amizade e atenção.

À Dona Lourdes e meu amigo Flávio, pela disponibilidade, atenção e amizade.

À minha querida amiga Camila, pelas orientações, disponibilidade e paciência nas análises estatísticas.

À minha grande amiga, Andréa Paolucci, pela confiança, apoio e amizade.

Aos colegas: Elizandra, Fausto, Gustavo, Ellem, Reginaldo e Antonia pela amizade e colaboração.

À todas as pessoas que colaboraram para a realização deste trabalho.

Ao meu grande amigo, William, pelo incentivo, apoio e amizade.

Em especial, à minha irmã Alessandra, pelo apoio, confiança e carinho.

## RESUMO

O soro é um subproduto do leite, obtido durante a produção de queijo ou de caseína. O concentrado proteico de soro (WPC) e o isolado proteico de soro (WPI) apresentam altos valores de proteína, possuindo todos os aminoácidos essenciais ao organismo humano, podendo ser utilizados como ingredientes na extrusão termoplástica de pellets e snacks de milho, agregando valores nutricionais. Objetivou-se neste trabalho utilizar grits de milho e WPC/WPI na produção de pellets e snacks por extrusão termoplástica. Foram avaliados cinco níveis de WPC e de WPI (0% a 37%) com cinco níveis para a temperatura da última zona do extrusor (53,8 a 96,2°C) para os pellets e cinco níveis de WPC e de WPI (0 a 28%) com cinco níveis de rotação do parafuso (298 a 399 rpm) para os snacks, totalizando 11 tratamentos para cada produto final. Foram avaliadas as propriedades químicas, físicas, térmicas e sensoriais de pellets e snacks. O grits de milho se destacou pelo teor de carboidratos (75,28 g 100g<sup>-1</sup>) e o WPC/WPI apresentaram 69 e 78 g 100 g<sup>-1</sup> de proteína, respectivamente, além de bons valores aminoacídicos. À medida que se aumentaram os teores de WPC, a densidade absoluta (DA) dos pellets diminuiu. A adição de 34% de WPC e 96°C da temperatura da 3ª zona de extrusão (TE) produziu pellets mais densos e com maior IAA. As viscosidades a frio (Vfrio) e mínima à quente (Vmin) aumentaram com o aumento do WPC e maior TE. A viscosidade máxima (Vmáx), breakdown e setback aumentaram com maior teor de WPC, bem como os níveis de proteína e aminoácidos desses produtos. Menores teores de WPI e maiores TE aumentaram a DA e ΔE dos pellets. Pico de Vmáx foi obtido com máxima TE e teor de WPI, assim como o maior valor de ISA foi obtido com 34% de WPI e 53,8°C. Máxima densidade dos pellets expandidos (DE) foi obtida com 34% de WPI. Quanto ao índice de crocância (Wc) dos pellets, os resultados foram diversos. O breakdown, setback e teor proteico dos pellets foram maiores à medida que se aumentou o WPI, assim como o teor proteico. Para os snacks com WPC, maiores níveis deste aumentaram a densidade, ΔE, Vfrio, Vmáx, Vmín, breakdown, teor proteico, cinzas e aminoácidos. Porém, reduziram o índice de expansão radial (IER), ISA e IAA. Os snacks com WPI apresentaram maiores IER, Vfrio e setback nos baixos níveis de WPI. Porém, maiores valores desta aumentaram a densidade, ΔE, breakdown, teor de proteínas, cinzas e aminoácidos. Quanto à avaliação sensorial, os pellets com 0% e 5% de WPC/WPI foram os mais preferidos, o mesmo ocorrendo para os snacks com 0% e 4,1% de WPC/WPI. A substituição do grits de milho pelo WPC ou WPI a 5% produziram pellets com boas qualidades tecnológicas e de melhor valor nutricional. Concentrações de 4% a 14% das mesmas proteínas produziram snacks com boas propriedades tecnológicas e de maior valor nutricional. Portanto, WPC e WPI são benéficos na extrusão termoplástica de grits de milho.



**Palavras-chave:** Pellet. Snack. Concentrado proteico de soro lácteo. Isolado proteico de soro lácteo. Extrusão de alimentos. Aminoácidos. Análise sensorial.

## ABSTRACT

The whey is a by product of milk obtained during the production of cheese or casein. The whey protein concentrate (WPC) and whey protein isolate (WPI) have high protein, having all the essential amino acids the human body and can be used as ingredients in the thermoplastic extrusion of pellets and corn snacks, adding nutritional value. The aim of this study was to use corn grits and WPC / WPI on the production of pellets by extrusion cooking and snacks. We evaluated five levels of WPC and WPI (0% to 37%) with five levels for the temperature of the last zone (53.8 to 96.2 ° C) for pellets and increasing levels of WPC and WPI (0 to 28%) with five levels of screw speed (298-399 rpm) for snacks, totaling 11 treatments for each final product. We evaluated the chemical, physical, thermal and sensory properties of pellets and snacks . The corn grits are highlighted by the carbohydrate content (75.28 g 100g<sup>-1</sup>) and WPC / WPI showed 69 and 78 g 100 g<sup>-1</sup> protein, respectively, and good amino acid values. As they increased the content of WPC, the absolute density (AD) of the pellets decreased. The addition of 34% WPC and 96 C from the 3rd zone of extrusion (TE) and denser pellets produced more IAA. The viscosities of cold (Vfrio) and the hot minimal (Vmin) increased with growth WPC and TE. The maximum viscosity (Vmax) breakdown setback and increased with higher content of WPC, and the levels of protein and amino acids such products. And lower levels of WPI increased major TE DA and ΔE of the pellets. Vmax peak was obtained with ET and maximum content of WPI, as well as the highest value of ISA was obtained with 34% WPI and 53.8 ° C. Maximum density of the pellets expanded (DE) was obtained with 34% WPI. As for the index of crispness (WC) pellets of the results were mixed. The breakdown, setback and protein pellets were higher as they increased the WPI, as well as the protein content. For snacks with WPC, higher levels of increased density, ΔE, Vfrio, Vmax, Vmin, breakdown, protein, ash and amino acids. However, the reduced radial expansion ratio (IER), ISA and IAA. Snacks with WPI had higher IER, Vfrio setback and low levels of WPI. However, larger values of this increased density, ΔE, breakdown, protein, ash and amino acids. As for the sensory evaluation, the pellets containing 0% and 5% WPC / WPI were the most preferred, and so on for snacks with 0% and 4.1% WPC / WPI. The substitution of corn grits by the WPC or WPI to 5% produced pellets with good technology and better nutritional value. Concentrations of 4% to 14% of the same proteins produced snacks with good technological properties and high nutritional value. However, WPC and WPI are beneficial in thermoplastic extrusion of corn grits.

**Keywords:** Pellets. Snacks. Whey protein concentrate. Whey protein isolate. Extrusion of foods. Amino acids. Sensory analysis.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
2.1	<b>Milho</b> .....	17
2.1.1	<b>Produção e consumo</b> .....	19
2.1.2	<b>Qualidade do milho e sua utilização como matéria-prima</b> ..	21
2.2	<b>Soro Lácteo</b> .....	22
2.2.1	<b>Utilização do soro lácteo</b> .....	24
2.2.2	<b>Proteínas do soro: valor nutricional e constituintes</b> .....	29
2.2.3	<b>Propriedades funcionais das proteínas do soro</b> .....	34
2.2.3.1	<b>Solubilidade</b> .....	35
2.2.3.2	<b>Absorção</b> .....	35
2.2.3.3	<b>Emulsificante</b> .....	36
2.2.3.4	<b>Desnaturação</b> .....	36
2.2.3.5	<b>Gelificação</b> .....	37
2.2.3.6	<b>Capacidade de se ligar a água</b> .....	38
2.3	<b>Concentrado proteico lácteo (WPC)</b> .....	38
2.4	<b>Isolado protéico lácteo (WPI)</b> .....	39
2.5	<b>Extrusão termoplástica</b> .....	39
2.5.1	<b>O extrusor e descrição do processo</b> .....	40
2.5.2	<b>Vantagens e aplicações</b> .....	43
2.5.3	<b>Efeito das variáveis de extrusão</b> .....	45
2.5.4	<b>Efeitos da extrusão sobre o valor nutricional dos extrusados</b> .....	47
2.5.5	<b>Efeitos da extrusão na microestrutura do amido e nas proteínas</b> .....	48
2.6	<b>Interação amido-proteína</b> .....	50
2.7	<b>Pellet</b> .....	52
2.8	<b>Snack</b> .....	52
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	54
3.1	<b>Obtenção das matérias-primas</b> .....	54
3.2	<b>Análises dos concentrados (WPC) e isolados (WPI) proteicos de soro lácteo e do griz de milho</b> .....	54
3.2.1	<b>Umidade</b> .....	55
3.2.2	<b>Extrato etéreo</b> .....	55
3.2.3	<b>Proteína</b> .....	55
3.2.4	<b>Cinzas</b> .....	55
3.2.5	<b>Fibra alimentar</b> .....	56
3.2.6	<b>Carboidratos totais</b> .....	56
3.2.7	<b>Valor calórico</b> .....	56

3.2.8	Aminoácidos .....	56
3.2.9	Viscosidade de pasta .....	57
3.2.10	Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	57
3.3	Delineamento experimental dos pellets .....	58
3.3.1	Metodologia de superfície de resposta dos pellets .....	58
3.3.2	Condicionamento das amostras dos pellets .....	62
3.3.3	Processo de extrusão dos pellets .....	63
3.4	Análises dos pellets .....	66
3.4.1	Densidade absoluta e densidades dos pellets não- expandidos e densidade dos pellets expandidos.....	66
3.4.2	Cor dos pellets expandidos .....	66
3.4.3	Textura dos pellets expandidos .....	67
3.4.4	Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) .....	68
3.4.5	Viscosidade de pasta .....	69
3.4.6	Calorimetria diferencial de varredura (DSC) .....	69
3.4.7	Difratômetro de raio-x .....	70
3.4.8	Umidade .....	70
3.4.9	Extrato etéreo .....	70
3.4.10	Proteína .....	70
3.4.11	Cinzas .....	71
3.4.12	Fibra alimentar .....	71
3.4.13	Carboidratos totais .....	71
3.4.14	Valor calórico .....	71
3.4.15	Aminoácidos .....	71
3.4.16	Análise sensorial dos pellets .....	71
3.4.17	Análises estatística dos pellets .....	71
3.5	Delineamento experimental dos snacks .....	72
3.5.1	Metodologia de superfície de resposta dos snacks .....	73
3.5.2	Condicionamento das amostras dos snacks .....	77
3.5.3	Processo de extrusão de snacks .....	78
3.6	Análises dos snacks .....	79
3.6.1	Índice de expansão radial e densidade .....	79
3.6.2	Cor .....	80
3.6.3	Textura .....	80
3.6.4	Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA) .....	81
3.6.5	Viscosidade de pasta .....	82
3.6.6	Umidade.....	82
3.6.7	Extrato etéreo .....	82
3.6.8	Proteína .....	82
3.6.9	Fibra alimentar .....	82

3.6.10	Cinzas .....	83
3.6.11	Carboidratos .....	83
3.6.12	Valor calórico .....	83
3.6.13	Aminoácidos .....	83
3.6.14	Análise sensorial .....	83
3.6.15	Análises estatísticas .....	83
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	85
4.1	<b>Caracterização dos griz de milho, concentrado (WPC) e isolado (WPI) proteico de soro lácteo</b> .....	85
4.1.1	Composição centesimal e valor calórico.....	85
4.1.2	Aminoácidos .....	87
4.1.3	Calorimetria diferencial de varredura (DSC) .....	90
4.2	<b>Caracterização dos pellets elaborados com concentrado proteico de soro lácteo (WPC)</b> .....	92
4.2.1	Densidade absoluta, densidade dos pellets não-expandidos e dos expandidos .....	92
4.2.2	Imagens dos pellets .....	97
4.2.3	Cor dos pellets expandidos .....	98
4.2.4	Textura dos pellets expandidos.....	100
4.2.5	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) .....	102
4.2.6	Viscosidade de pasta .....	104
4.2.7	Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	115
4.2.8	Difratômetro de raio-x .....	118
4.2.9	Composição centesimal e valor calórico.....	120
4.2.10	Aminoácidos .....	123
4.3	<b>Caracterização dos pellets com isolado proteico de soro lácteo (WPI)</b> .....	125
4.3.1	Densidade absoluta, densidade dos pellets não-expandidos e dos expandidos .....	125
4.3.2	Imagens dos pellets .....	131
4.3.3	Cor dos pellets expandidos .....	133
4.3.4	Textura .....	135
4.3.5	Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) .....	140
4.3.6	Viscosidade de pasta .....	142
4.3.7	Calorimetria diferencial de varredura (DSC) .....	150
4.3.8	Composição centesimal e valor calórico.....	152
4.3.9	Aminoácidos .....	155
4.4	<b>Caracterização dos snacks com concentrado proteico de soro lácteo (WPC)</b> .....	157
4.4.1	Índice de expansão radial (IER) e densidade .....	157

4.4.2	<b>Imagens dos snacks com WPC</b> .....	161
4.4.3	<b>Cor da farinha dos snacks</b> .....	162
4.4.4	<b>Textura</b> .....	166
4.4.5	<b>Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)</b> .....	171
4.4.6	<b>Viscosidade de pasta</b> .....	173
4.4.7	<b>Composição centesimal e valor calórico</b> .....	182
4.4.8	<b>Aminoácidos</b> .....	186
4.5	<b>Caracterização dos snacks com isolado proteico de soro de leite (WPI)</b> .....	189
4.5.1	<b>Índice de expansão radial (IER) e densidade</b> .....	192
4.5.2	<b>Imagens dos snacks com WPI</b> .....	194
4.5.3	<b>Cor da farinha dos snacks</b> .....	194
4.5.4	<b>Textura</b> .....	197
4.5.5	<b>Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água</b> .....	200
4.5.6	<b>Viscosidade de pasta</b> .....	201
4.5.7	<b>Composição centesimal e valor calórico</b> .....	210
4.5.8	<b>Aminoácidos</b> .....	214
4.6	<b>Análise sensorial dos pellets e snacks com concentrado (WPC) e isolado (WPI) proteico de soro lácteo</b> .....	217
4.6.1	<b>Avaliação sensorial dos pellets com WPC e WPI</b> .....	217
4.6.2	<b>Avaliação sensorial dos snacks com WPC e WPI</b> .....	224
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	232
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	233
	<b>ANEXOS</b> .....	258

## 1 INTRODUÇÃO

O soro lácteo possui proteínas de alto valor biológico, interessantes na melhoria da qualidade nutricional da alimentação humana. No entanto, o Soro lácteo, no Brasil, não é aproveitado adequadamente, em muitas situações, descartado no ambiente sem o devido tratamento. Em países desenvolvidos, o soro é integralmente utilizado como produto de elevado valor agregado como ingrediente na elaboração de iogurtes, bebidas lácteas, leite em pó e em outros produtos, pois, a sua incorporação não somente visa à melhoria do aspecto nutricional, mas pelas suas propriedades reológicas, como espessante de sabor agradável. As proteínas do soro, além de apresentarem uma série de benefícios à saúde humana, ao serem adicionadas em produtos ricos em amido, como produtos extrusados, têm o potencial de redução da caloria, pois, essas proteínas apresentam caráter inibitório de apetite, contribuindo, também, para o aumento da massa muscular.

A extrusão de alimentos, em função de sua versatilidade e flexibilidade, destaca-se entre as mais eficientes técnicas de cozimento, além de ser um método que requer menor gasto de energia e de alta produtividade, proporcionando inúmeros tipos de produtos, desde farinhas solúveis a produtos de conveniência como cereais matinais, snacks e biscoitos, os quais apresentam alta aceitabilidade pelos consumidores.

Considerando a praticidade e a falta de tempo em consumir refeições, os produtos de conveniência vêm ganhando espaço cada vez maior na vida do brasileiro. Em função desta mudança de hábito, a obesidade tanto em crianças quanto em adultos vem crescendo mais rapidamente ao longo dos últimos anos. Produtos processados por extrusão, como os expandidos diretamente (snacks) e os expandidos por fritura ou microondas (pellets) apresentam teor elevado de carboidratos, particularmente, o amido, sendo assim apontados como co-

responsáveis em promover a obesidade pela sua maior facilidade de digestão. No entanto, tais produtos apresentam elevada aceitação pelos consumidores, os quais são atraídos pelos seus atributos sensoriais, tais como textura, cor, aroma e sabor; e, apresentando fácil digestão, são importantes na alimentação, principalmente, das pessoas carentes, podendo ser citado como exemplo, o alimento oferecido às crianças da rede pública de ensino.

Tal alimento deve ser enriquecido com proteína, de forma a favorecer o aspecto nutricional do mesmo. Portanto, a associação de produtos ricos em amido, como a principal fonte de energia e proteínas torna-se importante na melhoria da dieta. Porém, a adição de outras fontes de proteína ou mesmo de fibra tendem a reduzir suas propriedades desejadas como, por exemplo, a textura aerada. Com o propósito de aumentar o valor nutricional desses alimentos, é necessário estudos sobre os mecanismos de interação entre os ingredientes a fim de modificar o processo de forma a obter produto de qualidade tecnológica e sensorial aceitável pelo consumidor.

## **Objetivos**

### **Objetivo geral**

Adequar e/ou desenvolver processos e produtos, combinando o concentrado proteico de Soro lácteo (WPC) e isolado proteico (WPI) e griz de milho.

### **Objetivos específicos**

a) Utilizar o concentrado proteico de Soro lácteo em combinação com o griz de milho na elaboração de produtos extrusados expandidos (snacks) e não expandidos (pellets).



b) Determinar os melhores parâmetros de extrusão utilizando como matérias-primas o concentrado proteico de soro, o isolado proteico de soro e o griz de milho.

c) Determinar se haverá aumento do valor biológico das proteínas dos produtos expandidos e não-expandidos, assim como a redução do seu teor de carboidratos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Milho

O milho (*Zea mays*) é uma gramínea originária do continente americano, proveniente do México. O milho atual cultivado foi bastante modificado pelo homem em relação à planta silvestre “teosinte” (*Euchlaena mexicana*), na qual se acredita ser seu antecessor (FANCELLI; LIMA, 1980). Semelhante a outros cereais, o grão de milho pode ser dividido em 3 partes principais: pericarpo (película), germe (embrião e escutelo) e endosperma, cuja sua composição química não está uniformemente distribuída entre eles (VILELA, 2002). A Tabela 1 apresenta a proporção e composição dos principais componentes do grão de milho.

O endosperma com alto teor de amido ( $86,4 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ) contém 98% do amido do grão. Apesar de o teor proteico do endosperma ( $9,4 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ) ser a metade do teor do germe ( $18,4 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ), ele representa  $75 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$  da proteína total do grão, em virtude de sua alta proporção ( $82 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$ ). O óleo do milho se concentra quase todo no germe, com um teor de  $34,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$  e  $86 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$  de proporção, sendo esta parte a matéria-prima para a extração do óleo. A cinza que representa todos os minerais do grão, também, se concentra no germe, com  $10,1 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$  e  $82,5 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$  de composição e proporção, respectivamente (VILELA, 2002).

Tabela 1 Valores médios da composição e proporção dos principais componentes das diferentes partes do grão de milho

Partes do milho	Porcentagem	Amido		Proteína		Óleo		Cinzas	
		Comp.	Prop.	Comp.	Prop.	Comp.	Prop.	Comp.	Prop.
(g 100 <sup>-1</sup> )									
Endosperma	82	86,4	98,0	9,4	75,0	0,8	13,0	0,3	15,0
Pericarpo	5	7,3	0,5	3,7	2,0	1,0	1,0	0,8	2,5
Germe	13	8,2	1,5	18,8	23,0	34,5	86,0	10,1	82,5
Grão	100	72,28		10,33		5,2		1,6	

Fonte: Watson e Ramsted (1987)

Quanto à qualidade da proteína do milho, o mesmo apresenta deficiência em aminoácidos essenciais, assim como outros cereais, como o arroz e o trigo. As proteínas de reserva, encontradas em maior abundância no grão de milho são ricas nos aminoácidos metionina e cisteína, mas são pobres em lisina e triptofano, essenciais à nutrição humana e de alguns monogástricos. Por esse motivo, a qualidade da proteína, em milhos normais, é baixa, correspondente a 65% daquela presente no leite, considerada um padrão para a nutrição humana (PAES, 2006). Por outro lado, as proteínas de reserva possuem quantidades elevadas dos aminoácidos glutamina, leucina, alanina e prolina, que conferem alta hidrofobicidade ao resíduo proteico extraído do endosperma no processo de produção do amido de milho (YOUNG; PELLETT, 1994). A Tabela 2 compara os aminoácidos essenciais do milho, trigo e arroz polido.

Tabela 2 Conteúdo de aminoácidos essenciais (g 100g<sup>-1</sup> de proteína) do milho, arroz polido e trigo em relação ao padrão FAO

Aminoácidos	Milho (9,5%, Nx6,25) <sup>1</sup>	Arroz polido (6,7%, Nx5,95) <sup>1</sup>	Trigo (12,2%, Nx5,83) <sup>1</sup>	Padrão FAO <sup>2</sup>
Histidina	2,7	3,0	2,5	1,9
Isoleucina	3,7	3,8	3,5	2,8
Leucina	12,5	4,4	7,2	6,6
Lisina	2,7	3,8	3,1	5,8
Metionina + cistina	3,5	3,8	4,3	2,5
Fenilalanina + tirosina	8,7	8,0	8,0	6,3
Treonina	3,6	3,5	3,1	3,4
Triptofano	7	1,4	1,2	1,1
Valina	4,8	6,1	4,7	3,5
Total	42,9	42,6	37,6	33,9

Fonte: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO (1970).

1 Teor proteico e fator de conversão de nitrogênio em proteína

2 Necessidades de aminoácidos essenciais para pré-escolares de 2 a 5 anos de idade (FAO 1990)

### 2.1.1 Produção e consumo

O milho, em função de sua facilidade de produção, adaptação, alta produtividade, baixo custo, composição e valor nutricional, constitui-se num dos mais importantes cereais cultivados no mundo, sendo suplantado apenas pelo trigo e arroz, em se tratando de sua utilização para alimentação humana.

A produção mundial do milho foi de 800 milhões de toneladas na safra 2008/09, plantados em, aproximadamente, 160 milhões de hectares em todos os continentes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO MILHO - ABRAMILHO, 2010). Quase metade da produção mundial sai dos EUA e a maior área plantada fica na Ásia, onde só a China representa perto de 30 milhões de hectares. A produção brasileira de milho em 2009 foi de mais de 50 milhões de toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2010), em que apenas 12,9% destes são utilizados na alimentação humana, mesmo assim, de maneira indireta na composição de outros produtos. Isto se deve, principalmente, à falta de informação sobre o milho e à ausência de uma maior divulgação de suas qualidades nutricionais, bem como aos hábitos alimentares da população brasileira, que privilegia outros grãos, como o arroz e o feijão.

O milho é usado na alimentação humana, animal e para fins industriais. Na alimentação humana é utilizado verde – cozido ou assado, transformado em diversos alimentos como mingau, pamonha, curau, bolos e cuscuz; e maduro e seco – diretamente sob a forma fubá, canjiquinha, canjica depois de cozida, e sob a forma de farinha, flocos e broa e pão de milho (VILELA, 2002). Na indústria alimentícia, o amido de milho possui muitas aplicações: produção de macarrões, biscoitos, sobremesas, conservas, sorvetes, snacks, cerveja e na produção de xarope de glicose (fabricação de balas, doces, bolos, pastelarias). Pode-se citar, ainda, sua aplicação como amido modificado ou não em produtos não alimentícios: papel, resinas, plásticos, fármacos, tintas, detergentes, adubos, têxtil e metalurgia (CEREDA, 2001). O óleo de milho, produzido mediante o germe, é destinado ao uso culinário e fabrico de margarinas. Outro derivado de grande importância é o álcool, utilizado como fonte de energia. Ainda, em razão de seu valor energético, o grão de milho é largamente empregado na alimentação animal, como componente principal de rações. Da mesma forma, a planta inteira

é utilizada como forrageira, sendo a espécie a mais indicada na confecção de silagens.

### **2.1.2 Qualidade do milho e sua utilização como matéria-prima**

A moagem via seca do milho constitui na limpeza dos grãos, a retirada do germe, onde o endosperma restante é moído e peneirado em diferentes frações de tamanho e composição. Seus produtos resultantes são a canjica, canjiquinha, fubá, farinhas mais finas e gritz, sendo este último comumente utilizado na produção de snacks e pellets (BURRIOS; YONG; CARROAD, 1987). A composição média dos gritz é de 8,4% de proteína, 88,9% de carboidratos, 0,88% de gordura e 0,43% de cinzas. Durante este processamento, a qualidade de degerminação e moagem é revelada pelo total de rendimentos obtidos em germe, canjica, fubá e pelo consumo de energia gastos. Todos esses índices dependem diretamente das propriedades físicas e mecânicas do grão e estas são influenciadas pela umidade, impurezas, grãos quebrados, ardidos e brotados, que afetam a eficiência do processo e comprometem a qualidade sanitária e tecnológica do produto final (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006). A moagem, via úmida, produz amido e seus derivados, óleo, farelo e proteína. O amido, também, é utilizado como matéria-prima na extrusão de produtos expandidos e não-expandidos.

Para a produção de extrusados de boa qualidade se fazem necessários certos requisitos do milho para a produção de gritz, como grãos duros (melhor rendimento quando comparado ao mole), de tamanho médio ou maior, alta densidade e pericarpo fácil de ser removido. Para se produzir snacks com expansão e textura adequados, os gritz devem ter granulometria uniforme, pois, as partículas uniformes da matéria-prima são cozidas, adequadamente,

prevenindo dureza ou cozimento parcial no produto final (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006).

## **2.2 Soro Lácteo**

O soro pode ser definido como a parte aquosa do leite que permanece depois da separação do coágulo proveniente da coagulação do leite por ácido ou enzimas proteolíticas (VIOTTO, 1993).

Há dois tipos de soro, o doce e o ácido. O soro doce é proveniente da coagulação enzimática do leite em pH próximo de 6,7, ou coagulação da caseína por enzimas proteolíticas, a exemplo da renina, com pH mínimo de 5,6. É obtido de queijos tipo Prato, Minas frescal, Minas padrão, Mussarela, Cheddar e suíços ou queijos de coagulação rápida, onde se encontra boa parte da lactose do leite. O soro ácido provém da manufatura de queijos quark, requeijão, caseína, dentre outros (MELLO, 1989) ou queijos de coagulação lenta, onde ocorre grande transformação de lactose em ácido láctico e é obtido pela coagulação da caseína em pH inferior a 5,1 (FOX et al., 2000).

A composição do soro doce típico é de, aproximadamente, 93% de água, 4,9% de lactose, 0,9% de proteína bruta, 0,6% de cinzas, 0,3% de gordura e 0,2% de ácido láctico. Os principais elementos que compõem as cinzas do soro incluem: 0,188% de óxido de potássio; 0,075% de óxido de sódio; 0,071% de óxido de cálcio; 0,018% de óxido de magnésio; 0,001% de óxido férrico; 0,110% de pentóxido de fósforo e 0,029% de trióxido de enxofre (SGARBIERI, 2004).

A Tabela 3 mostra a composição média de diversos tipos de soro em comparação com o leite integral e desnatado.

Tabela 3 Composição química aproximada, em percentagem, do leite integral, leite desnatado e do soro

Componentes	Leite Integral	Leite Desnatado	Soro Doce	Soro Ácido
Água (%)	87,40	90,40	93,00 - 94,00	94,00 - 95,00
Sólidos Totais (%)	-	-	(6,00-7,00)	(5,00 - 6,00)
Proteína (%)	3,50	3,60	(0,80-1,00)	(0,80 - 1,00)
N Não Proteico (%)	0,032	-	0,040	-
Lactose (%)	4,80	5,10	(4,50-5,00)	(3,80 - 4,20)
Cinzas (%)	0,70	0,70	(0,50-0,70)	(0,70 - 0,80)
Cálcio (mg/100g)	-	-	43,2	-
Fósforo (mg/100g)	-	-	39,4	-
Lipídios (%)	3,50	0,10	0,30 - 0,10c	0,10
Ácido Láctico (%)	-	-	traços	até 0,80
Ácido Cítrico (%)	-	-	0,15	0,10
Acidez (°D)	17,1	-	11,5	-
pH	-	-	(5,80-6,60)	(4,40 - 4,60)

Fonte: Fox et al. (2000)

O soro fresco apresenta uma relação proteína/lactose, aproximada, de 1:5 a 1:6, enquanto o soro em pó tem relação 1:7,2 e o concentrado proteico de soro ultrafiltrado 1:1,68. Essa relação, também, pode variar, dependendo da composição do leite e do procedimento empregado na elaboração do queijo (SGARBIERI, 2004).



Embora vários queijos sejam processados, por meio da coagulação enzimática da caseína, proteínas do soro são definidas como as proteínas restantes no soro seguido da remoção da caseína precipitada a pH 4,6.

A composição do soro é influenciada pelo tipo de queijo de que se origina, pelo tratamento térmico, pelo manuseio e outros fatores. Portanto, seu conteúdo em proteínas, sais minerais, ácidos graxos, lactose e ácido láctico é bastante variável (SGARBIERI, 2004). Essas diferenças causam efeito no processamento e na funcionalidade das proteínas (DYBING; SMITH, 1991).

### **2.2.1 Utilização do Soro lácteo**

Em função do volume de soro produzido, das suas qualidades nutricionais, problemas e pressões ecológicas causadas pela sua descarga em rios e mananciais, é que se faz necessário o estudo de formas para conservá-lo e utilizá-lo minimizando problemas, tanto de ordem ambiental como nutricional, em benefício da fauna, flora, animais domésticos e do próprio homem, usando, o soro, como alimento de alto valor nutritivo.

No país e no mundo, muitos produtores de queijo estão preocupados com a aplicação do soro de queijo. As razões são óbvias: o emprego convencional do soro não se tem expandido, enquanto que a sua aplicação em produtos mais nobres requer tecnologia mais sofisticada e de custos mais elevados (TORRES; BRANDÃO; PINHEIRO, 1989), por isso, apesar do seu alto valor nutricional, é um produto de baixo valor comercial em função de seu alto teor de água (MODLER et al., 1980).

O soro, na grande maioria das vezes, é considerado como um rejeito indesejável da fabricação de queijos e não como fonte importante de vários componentes alimentícios e matéria-prima para elaboração de vários produtos. Sob essa ótica, não se dispensa tratamento adequado ao soro, por exemplo, a

aplicação de refrigeração ou a sua concentração com o objetivo de se buscar maior conservação e estabilidade do mesmo, sendo, na grande maioria das vezes, simplesmente estocado em locais sem maiores cuidados, até que se efetive o seu descarte.

As indústrias de forma geral, não veem o soro como provável fonte de renda. Muito pelo contrário, ele é tido como material dispendioso, que impede qualquer ação de aplicação tecnológica para a simples deposição ou descarte deste material.

O soro possui em sua composição as proteínas do leite, de maior qualidade nutricional ( $\alpha$ -lactoalbuminas e  $\beta$ -lactoglobulinas), a lactose e os sais minerais. Por seu conteúdo em lactose, açúcar de fácil fermentação microbiana, o soro acidifica com facilidade e, conseqüentemente, requer cuidado especial. O seu resfriamento imediato deve ser realizado para dificultar a ação bacteriana nos processos fermentativos. Outro tratamento que se pode aplicar ao soro é a concentração e evaporação cujo objetivo final é a maior durabilidade do produto, em função do abaixamento da atividade de água com a conseqüente proteção de seus constituintes principais (FOX et al., 2000).

Três processos primários são empregados na preparação do soro, visando à sua utilização em produtos alimentícios, químico-farmacêuticos ou industriais (TORRES; BRANDÃO; PINHEIRO, 1989). São eles: a pasteurização, a concentração e a fermentação para que o soro possa ser aproveitado sob diversas formas, como por exemplo, na alimentação humana ou animal (SGARBIERI, 2004), na produção de lactose e de proteína concentrada (FORSUM; HAMBRAEUS, 1977; JELEN, 1979), na produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas (bebidas lácteas obtidas de frutas), álcoois, acetona, ácido láctico, etanol, metano, vitaminas, antibióticos, proteína microbiana, biomassa e soro-fermento, massas, produtos dietéticos, sorvetes e sobremesas (confeitaria e panificação), produtos cárnicos (embutidos), farinhas lácteas e

similares (alimentos infantis), iogurte, queijos (parmesão, mussarela e provolone) e ricota, e ração animal. Tudo isso a baixo custo.

Os métodos para processamento do soro podem ser subdivididos em utilização integral e fracionamento do soro, para produção de proteínas ou produtos proteicos, lactose, as duas substâncias, simultaneamente, e sais. Destacam-se, principalmente, concentração por congelamento, secagem, condensação, coagulação à quente ou precipitação de proteínas, centrifugação para recuperação da gordura, cristalização da lactose, desmineralização, osmose/ultrafiltração, filtração em gel, eletrodialise e troca iônica. Concentração, condensação, secagem e osmose inversa/reversa recuperam essencialmente todos os sólidos. Os outros sistemas são técnicas de fracionamento (JELEN, 1979; PELLEGRINO, 1987; VIOTTO, 1993).

Quando o soro é processado até produtos alimentícios, o processo inicial deve ser executado na indústria onde o soro é produzido, para que sua alteração em virtude do crescimento de microrganismos indesejáveis, seja prevenida ou retardada (PINTADO; MACEDO; MALCATA, 2001; SGARBIERI, 2004; TORRES; BRANDÃO; PINHEIRO, 1989).

Para grandes quantidades de soro, o processamento de secagem é mais viável. Os custos operacionais são praticamente determinados pela energia requerida para remover a água, que faz com que o custo de produção esteja permanentemente associado ao preço da energia. A produção do soro em pó ajuda a resolver certos problemas básicos relativos ao transporte e armazenamento, permitindo a conservação da maioria das suas qualidades nutricionais (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION - FAO, 1973).

A ultrafiltração (UF) que pode ser definida como a separação soluto-solvente, por meio de membrana seletiva adequada por aplicação de pressão hidrostática, causa no soro a remoção quase que proporcional de lactose,

minerais e polipeptídios de cadeia curta em relação à água, no permeado (PAOLUCCI, 1991). Assim, separa as proteínas, gordura e sais insolúveis que ficam retidos e constituem o concentrado, da lactose, sais solúveis e nitrogênio não proteico, que, atravessando a membrana, formam o permeado, que é uma solução (CONDACK, 1993). Desta forma, as proteínas do soro de grande valor nutritivo são reaproveitadas, restando o permeado, subproduto ainda com uma grande carga poluidora, o qual, também, pode ser reaproveitado como fonte de lactose e meio de fermentação, pois, além de ter um grande teor de lactose, contém minerais e vitaminas. Várias pesquisas têm sido realizadas a fim de verificar o uso do soro e do permeado de soro como substrato de microrganismos para a fermentação da lactose e diversos produtos, como levedura de pão, galactose, etanol e, principalmente, ácido láctico por *Lactobacillus helveticus* (PINTADO; MACEDO; MALCATA, 2001; ROY; GOULET; DUY, 1987;), além da sua utilização como meio de crescimento para fermento (CHRISTOPHERSON; ZOTTOLA, 1989). Nessas fermentações a lactose é utilizada como fonte de carbono, havendo um suplemento como fonte de nitrogênio adicional (BRONSTEIN, 1997).

Vários autores têm sugerido que o Soro lácteo poderia ser usado na formulação de refrigerantes nutritivos ou fabricação de bebidas com alto teor proteico (WEBB, 1972 citado por TORRES; BRANDÃO; PINHEIRO, 1989; BRONSTEIN, 1997). Um exemplo que hoje faz muito sucesso são as bebidas lácteas (TEBALDI, 2005). Surgidas em 1992, apresentam características semelhantes ao iogurte líquido, porém, diferindo tanto do iogurte tradicional como do líquido, por apresentar em sua composição a adição de soro de queijo, o que causa uma diferença nutricional, além de apresentarem menor viscosidade, com sensação de maior acidez (RICHARDS, 1997).

A Figura 1 resume os principais processos de industrialização e aplicações de derivados do soro.

### Processos de Industrialização do Soro

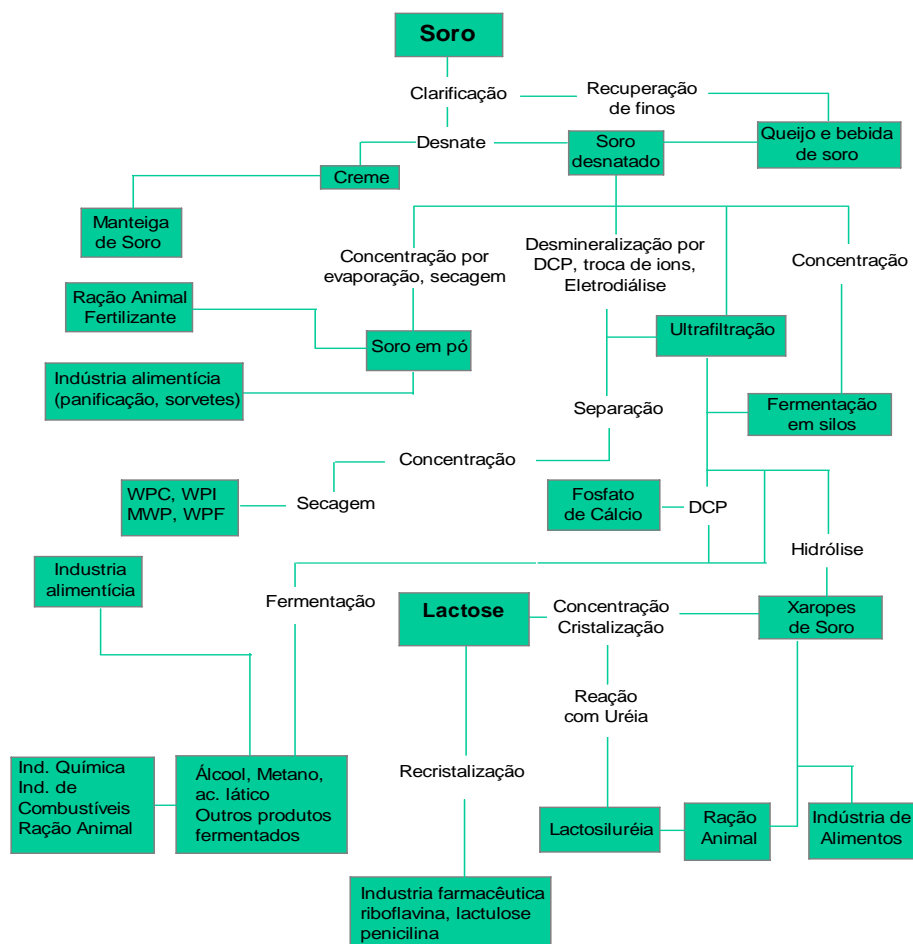


Figura 1 Esquema das diversas aplicações do soro  
Fonte: Fox (2000)

Novos produtos lácteos estão, em todo o mundo, crescendo a uma taxa muito superior à de qualquer outra categoria de alimentos. Isto porque os derivados de leite se inserem perfeitamente na atual tendência de valorização da saúde. As indústrias de laticínios brasileiras podem competir satisfatoriamente

com as estrangeiras, apesar de a concorrência externa ter condições de introduzir, rapidamente, no mercado, boas idéias já testadas com sucesso em outras partes do mundo (TEBALDI, 2005).

A busca de soluções para a utilização do soro, proveniente da fabricação de queijos, deve ser tarefa constante, sendo esse um desafio iminente para os setores da indústria, do governo, de entidades de pesquisa e extensão, enfim, de todos aqueles que, de forma direta ou indireta, podem dar a sua parcela de contribuição, para resolver, ou pelo menos diminuir consideravelmente o problema que é o soro de queijo, problema esse que pode ser transformado em soluções não só nutricionais, mas também econômicas.

### **2.2.2 Proteínas do soro: valor nutricional e constituintes**

O valor nutricional do soro de queijo está, principalmente, na qualidade de suas proteínas que, apesar de não estarem presentes em quantidades significativas, são de qualidade excepcional. A qualidade nutricional de uma proteína depende do padrão e concentração de aminoácidos essenciais, aqueles que o organismo humano não consegue sintetizar (SGARBIERI, 1996).

Dietas deficientes em um ou vários dos aminoácidos essenciais impedem um crescimento normal e podem levar a enfermidades ou mortalidade crescentes, além de provocar danos cerebrais irreversíveis que afetam a capacidade de aprendizado (CHEFTEL; CUQ; LORIENT, 1989). Admite-se que cerca de 1 milhão de pessoas sofre de desnutrição crônica, provocada por uma deficiência calórico-proteica, especialmente nos países do Terceiro Mundo.

As proteínas de origem animal são relativamente caras e seu suprimento para a população é um dos maiores problemas mundiais. As proteínas do leite, caseína e proteínas do soro são de fácil absorção e contêm quantidades variadas de todos os aminoácidos necessários aos seres humanos (Tabela 4), atendendo às

exigências qualitativa e quantitativa estabelecidas pela organização de alimentos e agricultura/organização mundial de saúde (CHEFTEL; CUQ; LORIENT, 1989; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION - FAO/WHO, 1990).

O soro líquido contém, aproximadamente, 20% das proteínas do leite original, variando de 4 a 7 g  $\text{litro}^{-1}$ , na qual 3.7g representam a  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -Lg), 0.6g a  $\alpha$ -lactalbumina ( $\alpha$ -La), 0.3 g a albumina sérica (BSA) e 1.4g as frações de proteose-peptona (MARSHALL, 1982). Adicionalmente contém outras proteínas como a lactoferrina, imunoglobulinas, ceruloplasmina e enzimas do leite em pequenas quantidades como lisozima, lipase e xantina-oxidase.

A Tabela 4 compara o conteúdo de aminoácidos das proteínas do soro, caseína e o padrão FAO.

A caseína, pelo seu excelente valor nutricional, é usada rotineiramente como proteína de referência para avaliar a qualidade proteica em alimentos. As proteínas do soro têm um quociente de eficiência proteica (PER) de 3,4, superando o da caseína que é de 2,9 (DELANEY, 1976), em razão do seu maior teor em aminoácidos sulfurados. Além disso, a  $\alpha$ -lactoalbumina contém quantidades significativas de triptofano (SWAISGOOD, 1982 citado por KINSELLA, 1976).

Tabela 4 Conteúdo de aminoácidos (g 100g<sup>-1</sup> de proteína) das proteínas do soro, caseína e o padrão FAO

	Proteína de Soro	Caseína	Padrão (FAO)*
Cistina	2,5	0,3	2,0
Metionina	2,1	2,4	2,2
Isoleucina	5,2	4,6	4,2
Leucina	11,2	8,1	4,8
Lisina	9,1	6,9	4,2
Fenilalanina	3,0	4,4	2,8
Tirosina	3,0	4,9	2,8
Treonina	6,5	3,9	2,8
Valina	5,0	5,7	4,2
Triptofano	1,9	2,2	1,4

Fonte: Cal-Vidal (1979)

\* FAO/WHO (1990) para pré-escolares de 2 a 5 anos de idade

A Tabela 5 ilustra a composição proteica média do soro láctico. Estas proteínas formam uma mistura heterogênea de componentes de globulina e albumina.



Tabela 5 Composição das proteínas do leite e do soro lácteo

<b>Proteína</b>	<b>Concentração (g l<sup>-1</sup>)</b>	<b>% Aproximada Proteína Total</b>
<b>Caseínas</b>	24-28	80
Alfa-caseína	15-19	42
Beta-caseína	9-11	25
Delta-caseína	3-4	9
Gama-caseína	1-2	4
<b>Proteínas do soro</b>	5-7	20
Beta-lactoglobulina	2-4	2-4
Alfa-lactalbumina	1-1,5	
Proteose-peptonas	0,6-1,8	
Proteínas do sangue	1,4-1,6	
Albumina sérica	0,1-0,4	
Imunoglobulina	0,6-1,0	
		100

Fonte: Fennema (1996)

A *b*-lactoglobulina representa, aproximadamente, 50% do teor total de proteína de Soro lácteo bovino. Esta proteína liga o cálcio ao zinco e sua sequência apresenta homologia sequencial parcial com determinadas proteínas capazes de se ligar ao retinol. A cadeia de *b*-lactoglobulina possui vários pontos de ligação com minerais, vitaminas lipossolúveis e lipídios. Estes pontos de ligação podem ser usados para incorporar compostos lipofílicos desejáveis como tocoferol e vitamina A em produtos com baixo teor de gordura (WALZEM, 1999).

A  $\alpha$ -lactoalbumina representa 25% da proteína do Soro lácteo. A proporção de  $\alpha$ -La para  $\beta$ -Lg no soro é de 1:3. Ela é uma proteína compacta globular e possui excelente perfil de aminoácidos, sendo rica em lisina, leucina, treonina, triptofano e cistina. A função biológica da  $\alpha$ -La é modular, o substrato específico da galactosiltransferase no complexo lactose sintetase, que é responsável pela síntese de lactose no tecido mamário em lactação (HILL; BREW, 1975).

A albumina sérica é uma proteína globular com bom perfil de aminoácidos essenciais. A estrutura da albumina sérica é responsável pelo comportamento anômalo da proteína em condições de desnaturação (PACE, 1975). Ela liga os ácidos graxos livres e outros lipídeos na qual pode estabilizar a molécula contra a desnaturação.

Quatro classes de imunoglobulinas ocorrem no leite bovino em pequenas quantidades: IgG (principal e responsável por 80% de toda imunoglobulina), IgA, IgM e IgE. Todas as classes são monômeros ou polímeros de uma unidade básica composta por quatro cadeias de polipeptídeos ligados covalentemente por pontes dissulfeto. Cada uma das cadeias são responsáveis por várias funções, como transporte de membrana (GALLY, 1973).

A fração proteose-peptona tem sido caracterizada como um grupo heterogêneo termoestável de polipeptídeos precipitado por ácido tricloroacético a 12%, sendo anfífilas por causa dos grupos fosfatos e sequências hidrofóbicas de resíduos de aminoácidos. Sua quantidade presente pode ter algum efeito sobre as propriedades funcionais da proteína do soro.

A lactoferrina e a lactoperoxidase são duas outras proteínas do soro. A lactoferrina está presente no leite em quantidades de 0,02 a 0,35g/litro e, também, em boas quantidades no leite humano (2-5 g/litro). Ela é uma proteína capaz de ligar e transportar ferro e promover a absorção de ferro sem provocar constipação em crianças pequenas, como ocorre com os suplementos

inorgânicos de ferro. Por estas razões, a lactoferrina é amplamente usada no Japão, na Coreia e em outros países asiáticos em formulas infantis. Além disso, a lactoferrina, ainda, possui efeitos antioxidantes, de fortalecimento do sistema imunológico e efeitos anti-câncer (WALZEM, 1999).

A lactoperoxidase tem sido objeto de vários estudos visando à sua utilização como meio de controlar o desenvolvimento da acidez e mudanças de pH durante a estocagem resfriada de iogurte. A lactoperoxidase, também, está sendo estudada quanto à possibilidade de ser utilizada como conservante natural. Em combinação com outros conservantes, a lactoperoxidase é usada como ingredientes em pasta de dente para combater cáries (WALZEM, 1999).

O glicomacropéptido (GMP), a porção glicolisada de caseinomacropéptido (CMP) está presente em soro doce, após a degradação da alfa-caseína e a precipitação da caseína pela renina. Esta proteína já não é mais encontrada no soro ácido que se forma quando as caseínas são precipitadas pela redução do pH a 4,6. O glicomacropéptido pode moderar o apetite estimulando o pâncreas a liberar o hormônio colecistocinina (CCK), um hormônio supressor do apetite que desempenha vários papéis na função gastrointestinal, incluindo a regulação da ingestão de alimentos e o esvaziamento gástrico (ALVINA; ARAYA, 2004).

### **2.2.3 Propriedades funcionais das proteínas do soro (WPC)**

A utilização das proteínas do Soro lácteo na indústria alimentícia não está ligada apenas às propriedades nutritivas, mas também por apresentar propriedades funcionais, que exercem importantes efeitos no sabor, aparência e textura dos alimentos (KINSELA, 1976). Dentre as principais propriedades, citam-se: solubilidade, absorção, aumento de volume, emulsificação,

viscosidade, formação de espuma, estabilidade térmica (desnaturação, agregação e precipitação) e formação de géis.

De modo geral há aspectos básicos a considerar numa determinação de funcionalidade proteica, como, por exemplo, a fonte de proteína, métodos de preparação, secagem, concentração, tratamentos químicos ou enzimáticos, temperatura, pH e meio iônico. A possibilidade de predizer o sucesso de uma dada incorporação proteica num determinado alimento dependerá em grande medida, de compreensão de tais métodos e variáveis (CAL-VIDAL, 1979).

#### **2.2.3.1 Solubilidade**

A solubilidade pode ser considerada como a habilidade de uma substância manter-se dispersa num dado solvente. A solubilidade depende de vários fatores, tais como: o tipo de proteína, o método de isolamento e o ambiente no qual a proteína é situada e está correlacionada com o pH da solução (KINSELA, 1976).

#### **2.2.3.2 Absorção**

Num dado meio, as proteínas podem interagir com os diferentes tipos de moléculas presentes, tendo em vista a natureza de regiões carregadas ou não presentes na macromolécula, favorecendo a retenção de substância hidrofílica ou hidrofóbica. Estas substâncias podem ser compostos polares (água, sais, carboidratos e pequenas moléculas orgânicas) ou apolares (gorduras e óleos) (CAL-VIDAL, 1979).

### **2.2.3.3 Emulsificação**

A capacidade de emulsificação depende da habilidade da proteína em se difundir para a interface água-óleo, desdobrar e se orientar de tal forma que os grupos hidrofóbicos se associem à fase aquosa (SCHMIDT; PACKARD; MORRIS, 1984). A real capacidade de emulsificação das proteínas pode variar amplamente, dependendo do tamanho, formato e solubilidade das moléculas proteicas, além do pH, temperatura e força iônica (DELANEY, 1976).

### **2.2.3.4 Desnaturação**

Na desnaturação, uma estrutura proteica, com certa ordenação em sua forma nativa, assume maior linearidade sem ruptura de qualquer ligação peptídica. Na maioria das vezes, resulta em alterações indesejáveis, tendo em vista mudanças nas propriedades físico-químicas das proteínas, afetando a sua solubilidade e propriedades funcionais (CAL-VIDAL, 1979).

O fator que mais afeta a funcionalidade das proteínas do soro é o tratamento térmico. Quando as proteínas do soro são aquecidas até pelo menos o estado parcialmente desdobrado, os resíduos de aminoácidos hidrofóbicos, enterrados profundamente dentro da estrutura da proteína nativa, são expostos resultando num aumento da reatividade de tais grupos. Há, também, um aumento da reatividade dos grupos sulfidrilas na qual podem sofrer oxidação dissulfeto (S-S) ou grupos de ácido cisteico (-SO<sub>3</sub>H) ou reações de transferência sulfidril-dissulfeto (KELLA; KINSELLA, 1988). Por meio de interações sulfidril-dissulfídicas e interações hidrofóbicas das moléculas de proteína desdobrada, podem associar uma com a outra para formar agregados. Dependendo das condições do meio, como pH, concentração de sal e concentração de proteína, estes agregados podem ser seguidos de precipitação, coagulação ou gelificação

(DONOVAN; MULVIHILL, 1987). De acordo com Schmidt, Packard e Morris (1984), um tratamento moderado (60° à 70°C) geralmente resulta na perda da estrutura terciária das proteínas. A temperaturas mais altas, dependendo da composição, ocorre uma agregação proteica. A fase de desdobramento das proteínas envolve interações moleculares como pontes de hidrogênio e ligações hidrofóbicas, enquanto que a fase de agregação envolve pontes dissulfeto na presença de íons cálcio.

#### **2.2.3.5 Gelificação**

O aquecimento de soluções de concentrado proteico resulta em consideráveis mudanças reológicas, na qual são, frequentemente, seguidas de gelificação. Fox et al. (2000) definiu o fenômeno da gelificação como uma agregação proteica, na qual interações polímero-polímero e polímero-solvente estão balanceadas e formam uma rede terciária ou matriz. Esta matriz semi-elástica é capaz de encapsular grandes quantidades de água e, também, outros componentes dos alimentos. A capacidade de gelificação é uma propriedade importante para muitos alimentos proteicos. Os géis são caracterizados pela sua viscosidade relativamente alta, plasticidade e elasticidade. A capacidade da proteína de formar gel que possa encapsular água, aromas, açúcares e outros compostos é de grande utilidade no desenvolvimento de novos produtos (KINSELLA, 1976). O concentrado proteico de soro ultrafiltrado apresenta capacidade de formar géis quando as proteínas estão na sua forma solúvel, não desnaturada, além de estarem em concentração adequada, pH e condições iônicas (MORR, 1979).

### **2.2.3.6 Capacidade de se ligar a água**

Água ligada é definida aqui como a água retida pela proteína que contém polpas após filtração ou aplicação de leve pressão ou força centrífuga. A pequena quantidade de hidratar é de 0,3-0,5 g de água g proteína<sup>-1</sup> e torna-se uma pequena parte do total de água associados a produtos alimentares frescos ou processados. A água ligada é especialmente importante quando as proteínas do soro são usadas em alimentos viscosos como bebidas, sopas e molhos. Entretanto, a água ligada e propriedades associadas (como gelificação e viscosidade) das proteínas são mais determinantes na textura de certos alimentos (FOX et al., 2000).

### **2.3 Concentrado proteico de soro lácteo (WPC)**

O concentrado proteico de soro (WPC) é obtido pela remoção suficiente dos constituintes não proteicos do soro pasteurizado. O produto final apresenta uma composição de 80% a 82% de proteína, 4% a 8% de lactose, 4% a 8% de lipídeos e 3% a 4% de cinzas (U.S. DAIRY EXPORT COUNCIL- USDEC, 2010). O método mais utilizado para a concentração das proteínas do soro é a de membranas por ultrafiltração. Nele o soro é clarificado a 50°C, submetido à ultrafiltração (talvez diafiltração, dependendo da concentração final requerida) e seco em spray dried (175°C-200°C na entrada e 80°C-90°C na saída). Este método produz concentrações de proteína entre 30% a 90% com mínima desnaturação quando o soro é submetido a controle cuidadoso. O uso da osmose reversa substituindo a evaporação, durante a concentração de proteína, reduz a desnaturação proteica e o processo combinado ultrafiltração-osmose é um método viável para a preparação de proteínas não desnaturadas e com boas propriedades funcionais (PEPPER; PAIN, 1987). Os concentrados proteicos a

34% são utilizados em produtos de panificação, laticínios, doces e como substituinte do leite desnatado em pó (por possuir constituintes de proteínas e minerais diferentes do anterior). Já os concentrados proteicos a 80% têm sido aplicados em laticínios, produtos de panificação, confeitaria, carnes, snacks e como fonte concentrada de proteína em suplementos proteicos (USDEC, 2010).

#### **2.4 Isolado proteico de soro lácteo (WPI)**

O processo de obtenção do isolado proteico de soro (WPI) é semelhante ao do WPC, porém, inclui um processo complementar de cromatografia de troca iônica, onde o soro é circulado por meio de colunas com resinas catiônicas e aniônicas, removendo os minerais (HOULDSWOTH, 1980). O produto final contém teores de proteína que podem ultrapassar os 90%. A composição típica de um Isolado proteico é de 90% a 92% de proteína, 0,5% a 1% de lactose, 0,5% a 1% de lipídeos e 2% a 3% de cinzas (USDEC, 2010). Os isolados têm sido utilizados em produtos lácteos, pães, carnes, doces e diretamente como fonte proteica, sendo solúvel ou formando dispersão coloidal estável sob temperatura ambiente e ampla faixa de pH (DALLAS; LAGRANGE, 1998).

#### **2.5 Extrusão termoplástica**

O processo de extrusão é definido como um processo no qual o trabalho mecânico é combinado com o calor para gelatinizar o amido e desnaturar proteínas, plasticizando e reestruturando o material no intuito de criar novas texturas e formatos (EL-DASH, 1982). O princípio básico desse processo é converter um material sólido em fluido, por meio de calor e trabalho mecânico, comprimi-lo, por intermédio de uma matriz, a fim de formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas (CHIANG; JOHNSON,



1977). A extrusão é considerada como um dos processos mais eficientes na área de processamento de alimentos, que implica na transformação de amido e proteínas em estruturas melhor digeríveis e que tenham maior capacidade de interação com a água (GONZALEZ et al., 1987).

### 2.5.1 O extrusor e descrição do processo

Um extrusor é, basicamente, composto de cinco componentes principais: um sistema de alimentação, um parafuso com mecanismo de acionamento, um cilindro, uma matriz e um mecanismo de corte, como mostrado na Figura 2 (POMERANZ; MUNCH, 1982).

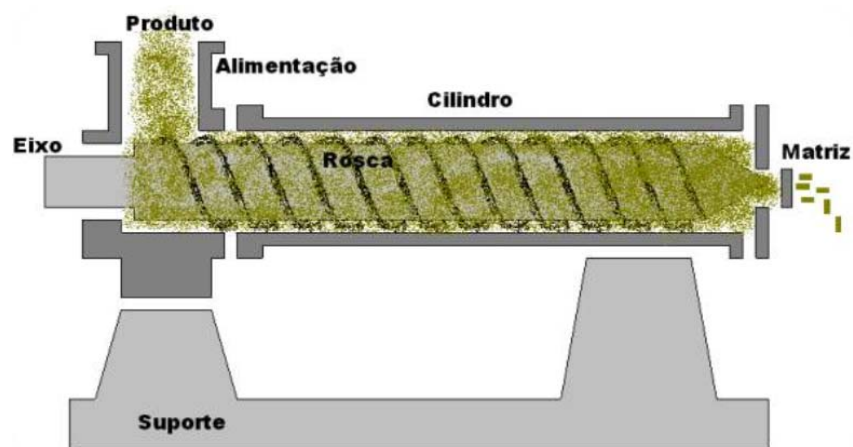


Figura 2 Principais partes de um extrusor  
Fonte: Pomeranz e Munch (1982)

O corpo do extrusor é a parte principal compreendida pela rosca ou roscas extrusoras e pelo cilindro, que pode estar encamisado, permitindo a circulação de vapor de aquecimento ou água de resfriamento.

O alimentador é composto de uma moega para receber o material a ser extrusado e um parafuso ou uma calha vibratória, localizados vertical ou horizontalmente. Para permitir um melhor fluxo, o alimentador é equipado com um agitador. A alimentação deve ser constante, uniforme e homogênea, para proporcionar um produto extrusado de qualidade.

O parafuso ou rosca é a parte mais importante do extrusor, pois, ajuda a regular o grau de cozimento, a gelatinização do amido e a qualidade final do alimento. Sua função é misturar, continuamente, a matéria-prima e conduzi-la pelo cilindro, gerando fricção mecânica e calor, que ajudam a fundir o produto. A parte interna do cilindro é, normalmente, ranhurada em extrusores de cozimento, para evitar o deslizamento da massa, aumentando, assim, a taxa de cisalhamento (GUTKOSKI, 2000).

A rosca extrusora pode ser dividida em três zonas como mostra a Figura 3.

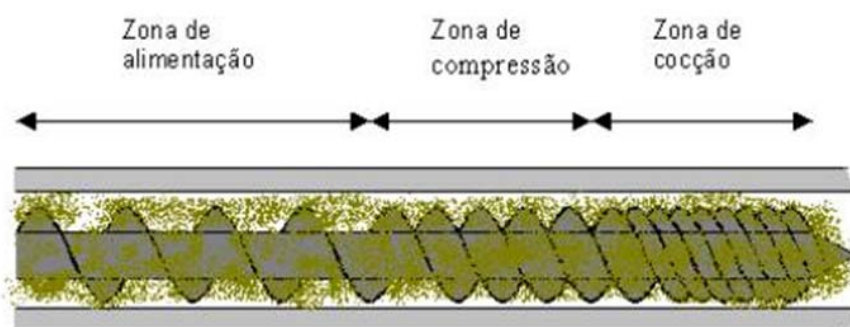


Figura 3 Zonas características da rosca extrusora  
Fonte: Pomeranz e Munch (1982)

Na zona de alimentação ou de transporte de sólidos, o material é introduzido no cilindro de extrusão. Este material é de baixa densidade por sua natureza granular e pela presença do ar que entra em contato com o produto. O canal se encontra parcialmente cheio, mas à medida que se desloca, o material é ligeiramente comprimido, expulsando o ar (POMERANZ; MUNCH, 1982). A zona de cocção ou de cisalhamento é onde ocorre a texturização, produzindo a máxima compactação e, sob as condições desenvolvidas de temperatura e pressão, o material é expulso por meio da matriz.

O final do cilindro é equipado com uma placa que, geralmente, possui vários orifícios conhecida como matriz. Esta possui duas funções: molda o produto para o formato desejado e trabalha como um redutor de fluxo, aumentando a pressão nas zonas de cozimento do extrusor.

Um mecanismo de corte pode ser instalado logo após a matriz. Ele é constituído por lâminas horizontais ou verticais que, de acordo com a velocidade de giro, determinam o comprimento do produto. O mecanismo deve promover corte do produto no comprimento do mesmo (POMERANZ; MUNCH, 1982).

Durante o processo de extrusão, a matéria-prima é introduzida no extrusor, por intermédio do alimentador, sendo conduzida pelos parafusos do alimentador e do cilindro da extrusora em direção à matriz. À medida que o produto atravessa as diferentes zonas de extrusão (alimentação, de transição e de alta pressão), ocorre um aumento gradativo do atrito mecânico, provocado por modificações da geometria do parafuso e abertura da matriz (FELLOWS, 2002). Em consequência do processo, aumentam, também, a pressão e a temperatura, ocorrendo o cozimento do alimento. A ebulição ou vaporização da umidade não ocorre dentro do extrusor, mesmo a altas temperaturas, porque a pressão é bastante alta variando de 40 a 60 atm. Nessas condições, há, durante o processo, abertura das estruturas terciárias e quaternárias dos biopolímeros, resultando na quebra e rearranjo das pontes de hidrogênio e dissulfetos, permitindo a

plastificação e a formação de texturas desejáveis. A alta pressão dentro do extrusor é liberada quando o produto emerge pela matriz. A rápida liberação da pressão causa a vaporização instantânea da água superaquecida, ocorrendo, conseqüentemente, a expansão do produto (SILVA, 2006).

### **2.5.2 Vantagens e aplicações**

O processo de extrusão termoplástica tem adquirido muita importância nas indústrias de alimentos, como alternativa para texturização, cozimento e outros tratamentos térmicos, além de apresentar muitas vantagens em comparação com sistemas tradicionais de processamento (HARPER, 1981). Estas vantagens são descritas por Tribelhorn e Harper (1980):

- a) Versatilidade: uma ampla variedade de produtos pode ser produzida por um mesmo sistema básico, bastando para isso modificar as condições do processo ou mudar algum dos componentes do equipamento.
- b) Alta produtividade: um extrusor tem capacidade de produção maior que outros sistemas de cozimento e texturização, além de ser um processo contínuo.
- c) Baixo custo: os custos de investimento, mão-de-obra, energia e processamento, bem como o espaço físico requerido por tonelada de produto acabado são menores que qualquer processo de cozimento industrial.
- d) Formato dos produtos: os extrusores podem produzir formatos não obtidos facilmente por outros métodos de produção.
- e) Produtos de alta qualidade: por ser um processo de alta temperatura e curto tempo, as perdas de nutrientes são menores e o cozimento melhora a digestibilidade do produto, em virtude da desnaturação de proteínas e gelatinização do amido; fatores antipalatáveis são destruídos e inibidores do crescimento e enzimas são inativados durante o processo; os produtos possuem

longa vida de prateleira sem refrigeração apresentando-se com uma baixa contagem total em placas e livres de patógenos e salmonelas.

f) Melhores características funcionais: os ingredientes são uniformemente misturados no produto, incluindo aqueles de pequenas quantidades tais como: vitaminas, corantes, aromatizantes e outros. A solubilidade e a textura podem ser ajustadas para ampla faixa.

g) Fabricação de novos produtos – extrusores podem modificar as proteínas vegetais, amidos e outras matérias-primas a fim de se obter novos produtos.

h) Não gera resíduos – não são produzidos nenhum efluente ou material de risco durante ou após o processamento.

A extrusão foi aplicada pela primeira vez, no processamento de alimentos em 1935, na produção de pastas alimentícias (ROSSEN; MILLER, 1973). Hoje possui um vasto campo de aplicações, seja na área alimentar para consumo humano ou animal, seja na área industrial. Atualmente, tem sido utilizado na produção de cereais matinais, “snacks”, farinhas pré-gelatinizadas, ração animal, entre outros. Muitos outros produtos podem ser obtidos por essa tecnologia, tais como bebidas instantâneas em pó, alimentos à base de cereais enriquecidos com proteínas, proteínas texturizadas, alimentos infantis, massas e pastas, biscoitos, goma de mascar, amidos modificados e outros (DZIEZAK, 1989; FAUBION; HOSENEY; SEIB, 1982; LINKO; COLONNA; MERCIER, 1981, SCHULER, 1986).

O processo de extrusão tem sido de especial interesse em programas de alimentação suplementar, nos quais países em desenvolvimento buscam uma tecnologia para a produção de alimentos nutritivos de baixo custo, destinados às populações mal nutridas que, nestes países, são encontradas em pequenas comunidades rurais ou em favelas nos centros urbanos (JANSEM; HARPER, 1980). Um exemplo dessa aplicação foi o programa LEC, desenvolvido na Universidade do Estado do Colorado nos Estados Unidos, onde alimentos

extrusados, à base de misturas de cereais e leguminosas, fortificados com vitaminas, minerais e em alguns casos leite em pó desengordurado são produzidos. O sistema permite obter alimentos nutritivos, seguros, aceitáveis e de baixo custo.

### **2.5.3 Efeito das variáveis de extrusão**

O controle do processo de extrusão permite obter produtos com características variadas, melhorando a eficiência e economia de operação. Embora a extrusão seja um processo tecnológico simples, seu controle é complicado, graças ao grande número de variáveis envolvidas no processo e sua complexidade.

Vilela (1983) divide as variáveis do processo em três grandes grupos:

- a) formato do parafuso e da matriz;
- b) variáveis operacionais como velocidade de alimentação, temperatura e rotação do parafuso;
- c) matéria-prima: teor de umidade e composição química;

A combinação de pressão, temperatura, viscosidade e fluidez influenciam na textura final do produto, na sua densidade, cor e propriedades funcionais. Observa-se que as condições de temperatura e umidade existentes, durante a cocção, propiciam uma completa gelatinização dos amidos, e a pressão provoca uma expansão exotérmica, após a saída da matriz, resultando em produtos crocantes e de baixa umidade

Chuang e Yeh (2004) estudaram o efeito do perfil do parafuso no tempo de residência do amido da farinha de arroz mediante extrusor mono-rosca. Observaram que o grau de gelatinização do amido da farinha de arroz tende a elevar-se com o aumento do tempo de residência da farinha no interior do cilindro provocado pelo tipo de configuração do parafuso.

Chinnaswamy e Hanna (1988) verificaram que extrusados de amido de milho tinham a sua expansão alterada com a velocidade do parafuso. Mantendo-se a temperatura e umidade constantes, a taxa de expansão cresce com o aumento da velocidade do parafuso até um máximo, então declina. Eles observaram, também, um aumento na expansão, quando a temperatura do cilindro foi até 140°C, decrescendo daí. Por outro, a expansão aumentou quando o conteúdo de umidade de processamento diminuiu de 30% para 14%.

Chiang e Johnson (1977), em seu trabalho com extrusados de farinha de trigo, relataram que a velocidade de rotação do parafuso pouco influenciou na gelatinização do amido. Porém, extrusados com maiores teores de umidade de extrusão e maiores temperaturas atingiram maiores graus de gelatinização.

A temperatura utilizada durante o processo de extrusão exerce um papel importante nas mudanças das propriedades físico-químicas dos produtos extrusados. Lawton, Henderson e Derlatska (1972) consideraram, além da umidade inicial da matéria-prima, a temperatura como a variável de maior efeito na gelatinização do amido.

Case, Hamann, e Schwaetz (1992) em seu trabalho de snacks de farinha e amido de trigo e farinha e amido de milho, verificaram que os mesmos, após a expansão por fritura, apresentaram maior volume quando a gelatinização dos grânulos de amido era maior. Amostras pouco gelatinizadas apresentaram pouca expansão após a fritura e maiores densidades.

Van Lengerich (1990) observou que amidos degradados são compostos de moléculas com baixo peso molecular em decorrência da dextrinização do amido. Esse fenômeno, usualmente ocorre em temperaturas de extrusão maiores do que 160°C (CHIANG; JOHNSON, 1977; COLONNA et al., 1983). Porém, Li, Campanella e Hardacre (2004) relataram maior grau de gelatinização em amido de milho quando extrusado a 130°C

#### **2.5.4 Efeitos da extrusão sobre o valor nutricional de extrusados**

A extrusão termoplástica é considerada um processo mecânico de alta temperatura e curto período de residência da matéria-prima dentro do extrusor (ALONSO et al., 2001). Por isso mesmo, as perdas de nutrientes são menores e o cozimento melhora a digestibilidade do produto por causa da desnaturação de proteínas e gelificação do amido.

Pellet e Yong (1980) relataram que as principais mudanças físico-químicas e bioquímicas que ocorrem na proteína dos alimentos, durante a extrusão, são a melhoria da digestibilidade e a inativação de enzimas e inibidores de proteases, por causa da desnaturação pela aplicação de calor úmido e cisalhamento. Ferreira (1999 citado por MOREIRA, 2010) observou que, durante a extrusão, as proteínas nativas passam por uma total desagregação com a fusão em uma suspensão homogênea que propicia a desnaturação, dissociação e formação de filamentos que se alinham no sentido do fluxo até a expulsão da máquina. Com a desnaturação surgem proteínas com diferentes pesos moleculares, bem como aminoácidos até então indisponíveis, podendo ocorrer reação com açúcares redutores e outros componentes (reação de Maillard) (ANDERSON et al., 1969). Embora o calor envolvido na extrusão possa melhorar o valor nutricional pela destruição de fatores antinutricionais e melhora da digestibilidade de proteínas, o calor excessivo pode destruir alguns aminoácidos essenciais (KINSELLA, 1978). A lisina é o aminoácido mais limitante em produtos de cereais e sua retenção, durante o processo de extrusão, pode diminuir mais ainda seus valores. O aumento na velocidade do parafuso e a redução do diâmetro final da matriz diminuíram a disponibilidade de lisina em extrusados de mistura de farinha de soja desengordurada e batata doce (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007). Um grande número de estudos sugere que altos valores de umidade (15-25%) diminuem a retenção de lisina no processo de



extrusão (NOGUCHI et al., 1982; BJORCK; ASP, 1983). Segundo Cheftel (1986 citado por SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007), a temperatura deve ser mantida até 180°C para minimizar a perda deste aminoácido.

De acordo com Killeit (1994), o processo de extrusão aumenta a digestibilidade de lipídeos e favorece a formação de complexo lipídeo-amido, porém, pode, também, destruir ácidos graxos poliinsaturados. Comportamento positivo, também, ocorre nas fibras, onde há aumento da fibra solúvel durante o processo de extrusão e destruição de fitatos.

#### **2.5.5 Efeitos da extrusão na microestrutura do amido e nas proteínas**

Os grânulos de amido apresentam em sua estrutura interna três componentes distintos: uma região altamente cristalina formada por hélices duplas de amilopectina; outro componente é uma região mais amorfa, com característica mais borrachosa, associada aos pontos de ramificação da amilopectina; e um terceiro componente se mostra como uma região menos flexível formada a partir da inclusão de lipídeos em complexos com amilose (TANG; GODWARD; HILLS, 2000).

Quando o amido granular é suspenso em água à temperatura ambiente, ocorre a absorção reversível de uma pequena quantidade de água e os grãos incham levemente. Com o aquecimento acima da temperatura de gelatinização, a água penetra nas regiões amorfas dos grãos e o inchamento irreversível é acompanhado pela perda da ordenação e da semicristalinidade dos grãos e pela liberação da amilose na solução. A ruptura das regiões cristalinas é seguida pelo desenovelamento das hélices duplas até que a estrutura esferulítica granular seja parcial ou totalmente destruída (SILVA, 2004).

O amido, durante o cozimento por extrusão, inicialmente, encontra-se numa forma granular, mas vai sendo, progressivamente, comprimido e

transformado num material fluido e em seguida torna-se denso e compacto, desaparecendo sua estrutura cristalina e granular (ASCHERI, 1995). A destruição parcial ou completa dependerá das variáveis de extrusão tais como velocidade da rosca, fluxo da massa, temperatura de massa, temperatura da camisa de vapor, diâmetro da matriz, configuração da rosca entre outros. É bem claro que os grânulos de amido podem resisitir à quebra dos seus componentes na extrusão em certas condições tipicamente de alta umidade e baixo grau de cisalhamento (como na produção de pellets), mas aumentando a severidade do tratamento térmico, como exemplo à umidade de 19% e 150°C, os grânulos perdem suas estruturas organizadas (CARVALHO et al., 2010).

Segundo Hauck (1981), a gelatinização do amido, desnaturação proteica, reestruturação dos componentes, resulta dos efeitos combinados da elevada temperatura, pressão e alto atrito mecânico produzido dentro do cilindro do extrusor. Esse processo tem sido extensivamente empregado como uma tecnologia para texturizar proteínas vegetais.

Ransen e Clark (1978) observaram que o aquecimento e cisalhamento da farinha de soja (33% a 45% de umidade) provocaram o desenrolamento da proteína, por meio de interrupções das ligações iônicas, dissulfídicas e pontes de hidrogênio da estrutura terciária nativa e que estas longas cadeias desenroladas alinhavam-se conforme as correntes do fluxo até a matriz. Harper (1979) concluiu que o fluxo era necessário para manter o alinhamento das moléculas de proteína e que crescente temperatura de 140°C a 160°C provocava formação de ligações químicas cruzadas que mantinham a estrutura de fibras em camadas, que simulavam carne

Segundo Smith (1976), a membrana que envolve individualmente o corpo proteico é rompida, durante a extrusão termoplástica, permitindo que as proteínas escoem juntas, formando pequenos canais. As proteínas são, então, desenroladas e estes fios são estirados de tal forma que são transformados em

fitas. O movimento helicoidal, provocado pelo parafuso do extrusor, faz com que estas fitas se depositem, tangencialmente, uma sobre as outras, as quais emergem no final da matriz em camadas de fibras como em um músculo.

## **2.6 Interação amido-proteína**

Grande parte dos produtos alimentares são sistemas multicomponentes, incluindo na sua formulação mais do que um biopolímero. Dado que propriedades dos sistemas mistos são, muitas vezes, superiores às de cada componente individual ou qualitativamente diferentes, é importante considerar não apenas a composição, estrutura e propriedades individuais de cada componente, mas também as propriedades da mistura (MORRIS, 1990, TOLSTOGUZOV, 1998). As interações entre proteínas e polissacarídeos podem dar origem a três situações distintas:

- 1) A soluções homogêneas estáveis, quando os dois componentes macromoleculares não interactuam ou quando formam complexos solúveis. A co-solubilidade é a situação menos frequente, em função da natureza polimérica das proteínas e dos polissacarídeos e do fato de possuírem grupos funcionais.
- 2) A um sistema bifásico onde ambos os componentes estão essencialmente, na mesma fase. Este fenômeno deve-se à formação de complexos insolúveis entre proteínas e polissacarídeos aniônicos.
- 3) A um sistema líquido monofásico ou bifásico, se a concentração total de biopolímero for, respectivamente, inferior ou superior à concentração mínima para a qual ocorre separação de fases, cada fase contendo, essencialmente, um dos biopolímeros. Esta situação deve-se à incompatibilidade termodinâmica entre os componentes em meio aquoso (CASTRO, 2002).

A complexação entre proteínas e polissacarídeos ocorre, geralmente, para valores de pH inferiores ao ponto isoelétrico da proteína e baixos valores de

força iônica. Nestas condições, as moléculas de proteína possuem um excesso de cargas positivas, ocorrendo a união dos cátions da proteína aos ânions dos polissacarídeos aniônicos. Deste modo, a perda de carga dos biopolímeros reduz a solubilidade dos complexos resultantes, podendo estes agregar, provavelmente, por ligações de hidrogênio e ligações hidrofóbicas (ALVES, 2001).

A incompatibilidade termodinâmica é o fenômeno geral entre proteínas e polissacarídeos, em virtude de sua estrutura química e conformação do meio aquoso. A separação de fases ocorre, geralmente, quando a concentração total de biopolímero excede o valor crítico entre 2% - 4%, mas para as proteínas globulares a concentração crítica corresponde a valores superiores a 12% (TOLSTOGUZOV, 1998) que se explica pelo grau de ocupação de volume das macromoléculas, que é inferior para as proteínas esféricas comparativamente para as proteínas alongadas. Geralmente, a incompatibilidade proteína-polissacarídeo ocorre a pH próximo do ponto isoelétrico da proteína e a altos valores de força iônica, fatores que contribuem para a auto-associação das cadeias proteicas. No entanto, segundo Grinberg e Tolstoguzov (1997), a estrutura química do polissacarídeo é o fator que mais influencia na separação de fases. Os polissacarídeos, com cadeia ramificada, apresentam, geralmente, uma maior compatibilidade com as proteínas, pois, para o mesmo grau de polimerização, os polímeros ramificados são menores que os lineares, sendo, por isso, menor a região de incompatibilidade. Por outro lado, um maior grau de ramificação contribui para um aumento da hidrofiliabilidade do polissacarídeo (ALVES, 2001).

## **2.7 Pellet**

Os “snacks” de terceira geração, também chamados “half-products” ou “pellets”, são preparados sob condições semelhantes aos de segunda geração,

com a diferença de que os “pellets” não são expandidos ao saírem do extrusor, as peças elaboradas têm sua forma determinada pelas características da matriz, seguindo-se de um controlado processo de secagem. O produto seco com, aproximadamente, 4% de umidade, pode ser estocado por um período de até um ano. A expansão deste produto pode ser obtida, por intermédio de fritura ou forno de Microondas (GUY; HORNE, 1988 citado por ASCHERI, 2007).

## **2.5 Snack**

Segundo Zelaya (2000), os chamados alimentos de conveniência estão em franco crescimento no mundo inteiro. Os mais conhecidos são os salgadinhos (snacks) e os cereais matinais. Embora não o sejam, são identificados como refeição, pois, suprem as necessidades daqueles que não têm tempo disponível para comer. Apesar disso, não fogem às novas regras do jogo, com respeito à saúde do consumidor. É exatamente esse consumidor apressado que mais se preocupa com a família e busca baixos teores calóricos, fibras e produtos naturais.

Os snacks incluem uma variedade de produtos que podem se apresentar em diferentes formas e, por sua definição, podem incluir mesmo alguns sanduíches, iogurtes e até sorvetes. Por razões culturais, um mesmo produto pode ou não ser considerado snack ou salgadinho, como batatas fritas, extrusados, pipoca, amendoim. A nova geração de snacks promove uma imagem de saúde e o amido tem desempenhado um importante papel para estabelecer essa imagem (HUANG, 1995). Eles podem ser classificados em baixo teor de gordura, assados e não fritos e alto teor de fibras. Suas vendas estão em ascensão.

Segundo Huang (1995), os salgadinhos são considerados itens supérfluos nas listas de compras, integrantes da compra por impulso. Pela sua

praticidade, tiveram o seu consumo aumentado e contribuíram, significativamente, para com o crescimento do faturamento das empresas, diversificaram sabores e proliferaram em diferentes marcas. Cresceu, também, todo um mercado informal, que tem nas feiras, camelôs, bares e mercadinhos de periferia seu maior canal de vendas. O que conceitua os snacks é a ocasião de consumo. Os produtos salgados são consumidos, principalmente, entre as refeições. O crescimento do número de pessoas que fazem as refeições fora de casa tem aumentado, também, o consumo dos salgadinhos como substitutos de refeições completas.

Os produtos prontos para o consumo como cereais matinais e “snacks”, em geral, alcançaram grande evolução em um curto espaço de tempo. São produzidos em três gerações. Na primeira geração, a matéria-prima, na forma de cereal, é processada sob a forma de grãos inteiros, usando combinações de umidade, temperatura, corte e secagem. Na segunda geração de “snacks”, os cereais são trabalhados sob a forma de uma massa, produzida de diferentes farinhas e/ou amidos de cereais e/ou tubérculos. A massa é formada em pequenas peças, usando um extrusor simples (mono rosca) ou de dupla rosca, seguindo-se de secagem e do armazenamento. Estes “snacks”, geralmente, são expandidos e prontos para o consumo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Planta IV de Extrusão de Cereais, nos Laboratórios de Reologia e de Moagem Experimental, de Análises Físico-Químicas, de Cromatografia líquida e de Análise Sensorial, os cinco pertencentes à Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ e no Laboratório de Produtos Vegetais do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG.

#### 3.1 Obtenção das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram obtidas de fornecedores diferentes, especificados a seguir:

**Concentrado proteico de soro de leite (WPC) e isolado proteico de soro de leite (WPI)** – os concentrados proteicos e isolados proteicos em pó, foram adquiridos da Alibra Ingredientes Ltda, Campinas, SP, em embalagens de 20kg e 15kg, respectivamente.

**Gritz de milho** – os gritz de milho foram adquiridos da GEM Alimentos, Acreúna, GO, em sacos de 20kg.

#### 3.2 Análises dos concentrados e isolados proteicos de soro de leite e gritz de milho

A caracterização das matérias-primas utilizadas neste trabalho serão descritas à seguir.

### **3.2.1 Umidade**

A umidade foi determinada, por meio de secagem, em estufa a 105°C até peso constante das amostras, conforme método nº 925.09 da American Association of cereal chemists - AOAC (2000).

### **3.2.2 Extrato etéreo**

O método utilizado, para determinar o teor de extrato etéreo, foi o de extração contínua em aparelho tipo Soxlet, usando solvente orgânico (éter etílico), segundo metodologia nº 925.38 da AOAC (2000).

### **3.2.3 Proteína bruta**

A fração proteica foi determinada pelo método de Micro-Kjeldahl nº 920.87 da AOAC (2000). O fator de conversão utilizado foi de 6,25 para os concentrados de soro proteico e 5, para o griz de milho.

### **3.2.4 Cinzas**

A fração cinza ou resíduo mineral fixo foi obtida, após incineração e carbonização das amostras em mufla, a 550°C, por período suficiente, para a queima de toda matéria orgânica, de acordo com a metodologia nº923.03 da AOAC (2000).



### **3.2.5 Fibra alimentar**

O método enzimático-gravimétrico nº 985.29 da AOAC (1987) foi o utilizado para a determinação da fibra dietética total nas amostras.

### **3.2.6 Carboidratos totais**

O método utilizado foi o cálculo por diferença segundo a equação:  
 $\% \text{ Carboidratos} = 100 - (U + EE + PB + F + C)$ , sendo U = umidade, EE = extrato etéreo (%); P = proteína (%); F = fibra dietética (%) e C = cinzas (%), considerando a matéria integral, segundo método da AOAC (2000).

### **3.2.7 Valor calórico**

Foram utilizados fatores de conversão de Atwater: 4 kcal/g para proteína, 4 kcal/g para carboidratos e 9 kcal/g para lipídeos, de acordo com a equação:

$VC = (\% \text{ proteína} \times 4,0) + (\% \text{ extrato etéreo} \times 9,0) + (\% \text{ carboidratos} \times 4,0)$   
conforme Osborne e Voogt (1978).

### **3.2.8 Aminoácidos**

A composição qualitativa e quantitativa dos aminoácidos foi determinada por análise de cromatografia líquida, pelo método de Cohen e Michaud (1993).

### **3.2.9 Viscosidade de pasta**

Para a determinação desta análise, as amostras de pellets não-expandidos foram secas em estufa a 50°C por, aproximadamente, 6 h, moídas em moinho de disco e peneiradas no agitador de peneiras Rotap modelo RX-29-10. A fração retida, entre as peneiras de 106 e 212µm, foi utilizada nesta análise. Para a determinação da viscosidade aparente de pasta foi utilizado o Analisador Rápido de Viscosidade, (Rapid Viscosity Analyser, RVA, Newport Scientific Pty. Ltd., Sidney, Austrália) seguindo-se a metodologia descrita por Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006). Os pesos das amostras e os volumes de água foram corrigidos, com base no teor de 14% de umidade e no teor de amido de cada amostra para uma quantidade de 3g de material em 25ml de água destilada. Foram analisados os seguintes parâmetros: viscosidade inicial (VI) a 25°C, viscosidade máxima (VM) a 95°C, viscosidade mínima (VMi) na fase constante, breackdown (BR) e setback (Se).

### **3.2.10 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)**

Para a determinação calorimétrica, foi utilizado o determinador calorimétrico diferencial de varredura modelo Q200, TA Instruments (New Castle, EUA) calibrado com indium. Foram pesadas 5mg de cada amostra, em base seca de granulometria, retida na peneira de 106 µm, em cadinho com tampa previamente pesado e acrescentou-se água destilada correspondente ao dobro do peso do material. Depois de seladas (colocação de tampa na base) as amostras foram deixadas em repouso por 24 horas em dessecador, para permitir a absorção de água uniforme e, posteriormente, colocadas no aparelho para a realização da análise. Os resultados obtidos foram: temperaturas iniciais ( $T_0$ , °C) e máximas

( $T_p$ , °C) do pico endotérmico de gelatinização/desnaturação e entalpia endotérmica ( $\Delta H$ ) de gelatinização/desnaturação em J/g

### 3.3 Delineamento experimental dos pellets

A metodologia de superfície de resposta, caracterização e estatística dos pellets estão descritas a seguir:

#### 3.3.1 Metodologia de superfície de resposta dos pellets

Para analisar o efeito combinado das variáveis: % do concentrado proteico de soro (WPC) ou do isolado proteico (WPI) e a temperatura de extrusão nas características tecnológicas dos extrusados, estabeleceu-se um experimento, estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo central composto rotacional de 2ª ordem (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978). Ao introduzir estes delineamentos no estudo de polinômios de segundo grau, ajustados a dados experimentais, objetivou-se minimizar o número de tratamentos. Os parâmetros do processo estabelecidos como variáveis foram estudados em três níveis codificados em (-1, 0, +1) calculados de acordo com a equação 1:

$$xi = \left( \frac{Xi - Z}{\Delta xi} \right) \quad (1)$$

em que:

$xi$  = valor codificado da variável  $Xi$ ;

$Xi$  = valor real da variável;

$Z$  = valor real da variável no ponto central;

$\Delta xi$  = valor do intervalo de variação do  $xi$ .

Este delineamento apresenta dois níveis de variáveis (2) axiais, que são codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ . O valor de  $\alpha$  é a função  $(F=2^k)$  do número de variáveis independentes ( $K=2$ ), no caso deste experimento, sendo definida conforme a equação 2:

$$\alpha = (F)^{\frac{1}{4}} = (2^K)^{\frac{1}{4}} = (2^2)^{\frac{1}{4}} = 1,4142 \quad (2)$$

A escolha do número de ensaios, em um experimento central composto, baseado em um experimento fatorial completo é  $n = 2^k + 2K + m$ , em que:

$2^k$  = número de pontos fatorais

$2K$  = número de pontos axiais (de estrela)

$m$  = número de replicações do ponto central

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão e com base em estudos anteriores. Para análise de resultados experimentais, a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes ( $X_k$ ), a variável dependente ou resposta ( $Y_i$ ). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos por Box e Draper (1967) como se segue na Equação 3:

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (3)$$

Por meio da análise de regressão pode ser ajustado, para cada resposta ( $Y$ ), um polinômio de segunda ordem como as variáveis explicativas ( $X_k$ ). A expressão geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada pode ser descrita da seguinte forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_{12} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{12} X_1 X_2 + \epsilon \quad (4)$$

em que:

$Y_i$  = função resposta

$X_1, X_2$  = valores das variáveis independentes;

$\beta_0$  = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;

$\beta_1, \beta_2$  = coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;

$\beta_{11}, \beta_{22}$  = coeficientes das variáveis quadráticas;

$\beta_{12}$ , = coeficiente de interação entre as variáveis independentes;

$\epsilon$  = erro experimental

O experimento foi conduzido num delineamento fatorial completo  $2^2$  com dois fatores ou variáveis dependentes (porcentagem de concentrado ou de isolado proteico de soro e temperatura). Assim, neste experimento foram usados 11 tratamentos, sendo 4 fatoriais (combinações dos níveis -1 e +1), 4 axiais (uma variável no nível  $\pm \alpha$  e a outra no nível 0) e três centrais, servindo como estimativa do erro experimental e determinar a precisão do modelo matemático (CROCHAN; COX, 1964).

Tanto os níveis codificados quanto os axiais ( $-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$ ) e os fatores têm seus valores reais apresentados na Tabela 7 e o delineamento completo na Tabela 8. As faixas entre o limite inferior e o superior, para cada nível, foram determinadas por testes preliminares.

Tabela 7 Níveis das variáveis independentes estudadas no processo de extrusão dos pellets

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha = 1,414$	-1	0	+1	$+\alpha = 1,414$
X <sub>1</sub>	0,03	5	17	29	33,97
X <sub>2</sub>	53,79	60	75	90	96,21

X<sub>1</sub> = Concentrado ou isolado proteico, WPC/WPI (%)

X<sub>2</sub> = Temperatura (°C) da 3ª zona de extrusão, T(°C)

Tabela 8 Delineamento completo do desenho experimental dos pellets

Tratamentos	Níveis codificados variáveis		Níveis decodificados variáveis	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	WPC/WPI (%)	T (°C)
01	-1	-1	5	60
02	-1	1	5	90
03	1	-1	29	60
04	1	1	29	90
05	-1,4142	0	0,03	75
06	1,4142	0	33,97	75
07	0	-1,4142	17	53,8
08	0	1,4142	17	96,2
09	0	0	17	75
10	0	0	17	75
11	0	0	17	75

X<sub>1</sub> = concentrado ou isolado proteico, WPC/WPI (%),

X<sub>2</sub> = temperatura da 3ª zona de extrusão, T (°C)

### 3.3.2 Condicionamento das amostras dos pellets

As amostras de matérias-primas foram condicionadas para os diferentes níveis de concentrado/isolado proteico, de acordo com o delineamento experimental (Tabela 8) e o teor de umidade final fixo de 37,07%, determinado por testes preliminares.

Após a determinação da umidade inicial das matérias-primas (gritz de milho e concentrado/isolado proteico de soro) por método de balança rápida, as mesmas foram pesadas em sacos plásticos, de acordo com a formulação, e a quantidade de água adicionada foi obtida pelas equações 5 e 6. Após isto, as amostras foram homogeneizadas por 3 minutos e acondicionadas por 24 horas sob refrigeração (8°C) em geladeira, para se obter uma distribuição e absorção mais uniforme da água.

$$U_i = \frac{(\%WPC / WPI \times \%umidade) + (\%gritzmilho \times umidade)}{100} \quad (5)$$

$$Y = \frac{(U_f - U_i \times Pa)}{100 - U_f} \quad (6)$$

em que:

Y = quantidade de água a ser adicionada (ml);

U<sub>f</sub> = umidade final

U<sub>i</sub> = umidade inicial da amostra (%)

Pa = peso da amostra

### 3.3.3 Processo de extrusão dos pellets

Para a elaboração dos pellets foi utilizado o extrusor monorosca da marca Brabender, modelo DSE 20DN, acoplado ao reômetro de torque DCE 330 (Duisburg, Alemanha) e os parâmetros utilizados foram: taxa de compressão do parafuso de 2:1, 100 rpm de velocidade de rotação do parafuso e 20 rpm de velocidade do alimentador. A matriz laminar utilizada foi de 1 mm de espessura e 30mm de largura.

O extrusor é equipado com três zonas de aquecimento no cilindro (1, 2 e 3). As temperaturas fixadas para as zonas 1 e 2 foram de 50 e 100°C, respectivamente. A temperatura da zona 3 seguiu o delineamento experimental (Tabela 8), onde se utilizaram as temperaturas variáveis de 53,8°C, 60°C, 75°C, 90°C e 96,2°C.

A extrusão dos pellets foi processada depois que as temperaturas do equipamento estavam estabilizadas (verificado pelo painel de controle). As tiras de pellets começaram a ser coletadas após a verificação de que as mesmas se apresentavam uniformes e sem bolhas. As amostras foram colocadas em sacos plásticos para posterior congelamento em freezer a -18°C. Isto se faz necessário em função do alto teor de umidade das amostras (34 a 36%), o que a torna perecível.

Para a realização das análises, as amostras foram descongeladas em temperatura ambiente, cortadas manualmente em tamanho de três cm e secas em estufa de circulação forçada a 60°C por 6 horas, até atingir uma umidade de 5% a 8%. Após feito isto, as amostras foram trituradas em dois moinhos. Primeiramente foi utilizado o moinho de disco da marca Laboratory Mill 3600 (Perten Instruments, Kungens Kurva, Suécia) com peneira de malha de 0,8 mm e, logo em seguida, triturada em moinho de faca da marca Perten 3600 (Perten



Instruments, Kungens Kurva, Suécia) com peneira de abertura equivalente a 1,0 mm, obtendo-se a farinha dos extrusados.

Para certas análises como viscosidade de pasta, calorimetria diferencial de varredura e cor foi necessário o peneiramento das amostras no conjunto de peneiras do agitador Granutest. A fração retida na peneira de abertura de malha de 0,105mm foi a utilizada.

Para a análise sensorial os pellets cortados foram expandidos por meio de fritura em óleo de soja, utilizando uma fritadeira industrial com temperatura fixa de 180°C por um tempo que variou de 11 a 20 s. Para ficarem bem crocantes foram secos em estufa de circulação forçada a 45°C por 4 h. Na Figura 4 é representado o fluxograma de produção das farinhas de pellets e dos pellets expandidos.

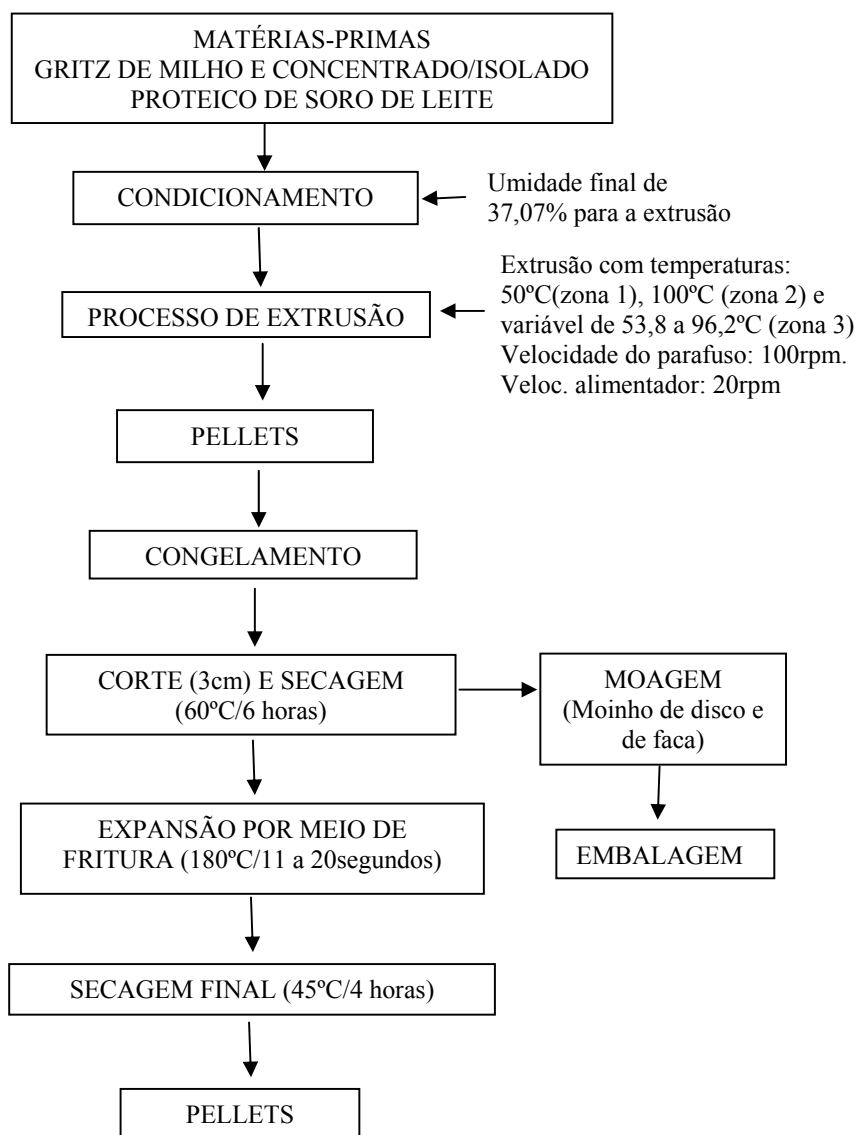


Figura 4 Fluxograma de produção dos pellets e farinha de pellets de grits de milho e WPC e WPI

### 3.4 Análises dos pellets

A caracterização dos pellets está descrita a seguir.

#### 3.4.1 Densidade absoluta dos pellets não-expandidos

Para a determinação da densidade absoluta, foi utilizado o picnômetro modelo Accupyc 1340, em que uma quantidade de pellets previamente pesada foi colocada em uma câmara de volume conhecido. O volume da amostra foi determinado por meio da variação de pressão do gás hélio injetado na câmara. A análise foi feita em duplicata e os resultados foram expressos em  $\text{g cm}^{-3}$ .

#### 3.4.2 Cor dos pellets expandidos

A análise instrumental de cor foi realizada por reflectância no S & M Colour Computer modelo SM - 4 - CH da Suga, no sistema Hunter com abertura de 30 mm de diâmetro. Os parâmetros de cor foram medidos em relação ao tratamento 5 do delineamento experimental (Tabela 8), que é a amostra padrão ( $L = 37,88$ ;  $a = 4,47$   $b = 14,22$ ) em que:

**L** = luminosidade (0 = preto e 100 = branco)

**a** (-80 até zero = verde, do zero ao +100 = vermelho)

**b** (-100 até zero = azul, do zero ao +70 = amarelo)

O cálculo para expressar a diferença de cor foi obtido pela equação 7:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (7)$$

em que:

$\Delta E$  = valor para diferença de cor;

$\Delta L$  = diferença entre a leitura L da amostra padrão e a leitura L da amostra;

$\Delta a$  = diferença entre a leitura **a** da amostra padrão e a leitura **a** da amostra;

$\Delta b$  = diferença entre a leitura b da amostra padrão e a leitura b da amostra.

Foram realizadas 4 repetições para cada amostra disposta em placa de Petri com 5 cm de diâmetro e 2 cm de altura.

### 3.4.3 Textura dos pellets expandidos

Para a determinação da textura foi utilizado o texturômetro Texture Analyser TA. HDi (Stable Micro Systems, UK), aplicando-se o teste de punctura (medida de força em compressão) com os seguintes parâmetros: probe cilíndrica P2 de 2mm de diâmetro e 36mm de comprimento, velocidade de teste de 1 mm s<sup>-1</sup>, velocidade pós-teste de 10 mm s<sup>-1</sup> e distância percorrida de 10 mm, após tocar a amostra, de acordo com metodologia sugerida por Bouvier, Bonneville e Goullieux (1997) de avaliação de crocância dos extrusados. Foram realizados 6 repetições para cada amostra. Os dados obtidos foram analisados pelo programa de textura Tex32, obtendo-se a força (N) do pico e a área, considerando-se a força e a distância (mm). O pico da força representa a resistência inicial da penetração geométrica e a dureza do extrudado; e a área inferior à curva é a energia requerida para o deslocamento dado. Foram utilizadas as equações abaixo:

$$\text{Frequência das rupturas (Nsr)} = \frac{No}{d} \quad (8)$$

$$\text{Força específica das rupturas (Fsr)} = \sum \frac{\Delta F}{N_0} = \text{Average Drop Off} \quad (9)$$

$$\text{Força de compressão (F)} = \frac{A}{d} \quad (10)$$

$$\text{Trabalho (Wc)} = \frac{F}{Nsr} \quad (11)$$

Em que:

$N_0$  é o número total de picos

$d$  é a distância que o produto foi comprimido (mm)

$\Delta F$  é a força de queda aplicada gerada por cada pico (N)

$A$  é a área sob a curva da força que provocou a deformação (mm<sup>2</sup>)

#### 3.4.4 Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

A determinação dos índices de absorção de água e solubilidade em água seguiram a metodologia descrita por Anderson et al. (1969) modificado, em triplicata para todos os tratamentos.

A análise consistiu na pesagem de 1g de cada amostra em base seca e de granulometria de 105 µm em tubos de centrífuga previamente tarados. Foram adicionados 5ml de água destilada seguida de agitação. Mais 5ml foram adicionados e agitados por 20 segundos, em aparelho agitador tipo Vortex, para perfeita homogeneização do material. Feito isto, os tubos foram levados a um agitador horizontal mecânico, da marca Eberback 625 tipo Shaker Bath por 30 minutos e, posteriormente, centrifugados por 20 minutos sob rotação de 4000 rpm em centrífuga da marca Hermle, modelo Z383.

O líquido sobrenadante, obtido após centrifugação, foi vertido em placas de Petri, previamente tarada e levados à estufa a 105°C por 4 horas. Depois de

resfriadas em dessecador, as placas foram pesadas e, de acordo com a equação 12, determinou-se o resultado de ISA

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso do resíduo da evaporação (g)} * 100}{\text{Peso da amostra (g)}} = \quad (12)$$

Após retirada do líquido sobrenadante, os tubos contendo o resíduo que se solubilizou na água destilada foram pesados e por meio da equação 13 foi determinado o IAA:

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso resíduo da centrifug. (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} = (\text{g de gel/g de matéria seca}) \quad (13)$$

#### 3.4.5 Viscosidade de pasta

Igual ao descrito no item 3.2.9

#### 3.4.6 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

Igual ao item 3.2.10. Os resultados obtidos foram: temperaturas iniciais ( $T_0$  °C) e máximas ( $T_p$  °C) do pico endotérmico de gelatinização e entalpia endotérmica ( $\Delta H$ ) de gelatinização (J/g). O grau de conversão do amido (DC%) foi estimado seguindo a equação 14 descrita por FAN et al. (1996):

$$\text{DC\%} = \frac{\Delta H_n - \Delta H_e}{\Delta H_n} \times 100\% \quad (14)$$

em que  $\Delta H_n$  e  $\Delta H_e$  são as entalpias de gelatinização do amido cru e do material extrusado, respectivamente.

### **3.4.7 Difratorômetro de Raio X**

De forma a investigar a perda da cristalinidade do material cru e do material processado, foram conduzidas análises de difração de raios-X. A amostra de pellet com 0,03% de WPC (T5), bem como a amostra de farinha de milho não processada, foram analisadas em um difratômetro de raios-X (Miniflex II, Rigaku, Japão), em velocidade de  $2^\circ$  ( $2\theta/\text{min}$ ) com um passo de  $0.05^\circ$  e equipado com fonte de radiação gerada a 30 KV e 15 mA. A radiação foi detectada por meio de um detector proporcional. Os difratogramas foram obtidos no modo de reflexão na faixa angular de 2 a 35 ( $2\theta$ ) (FAN; MITCHELL; BLANSHARD, 1996).

### **3.4.8 Umidade**

Igual ao item 3.2.1

### **3.4.9 Extrato etéreo**

Igual ao item 3.2.2

### **3.4.10 Proteínas**

Igual ao item 3.2.3

### **3.4.11 Cinzas**

Igual ao item 3.2.4

#### **3.4.12 Fibra alimentar**

Igual ao item 3.2.5

#### **3.4.13 Carboidratos**

Igual ao item 3.2.6

#### **3.4.14 Valor Calórico**

Igual ao item 3.2.7

#### **3.4.15 Aminoácidos**

Igual ao item 3.2.8

#### **3.4.16 Análise sensorial dos pellets**

Os tratamentos T1, T2, T5, T7, T8 e T12 dos pellets com WPC e os mesmos tratamentos com WPI foram utilizados para a análise sensorial. Foram avaliados sensorialmente pelo teste de aceitação, que tem como objetivo medir atitudes de aceitação ou preferência de produtos de forma individual ou em relação a outros produtos, de acordo com Chaves e Sproesser (1993).

O teste foi realizado sob iluminação branca em cabines individuais do Laboratório de Análise Sensorial e Instrumental da Embrapa Agroindústria de Alimentos – Rio de Janeiro, RJ. As amostras foram apresentadas de forma



monádica, em pires de porcelana branca, codificados com números de três algarismos. Para este estudo utilizou-se delineamento de blocos completos balanceados (MACFIE et al.,1989). As amostras foram avaliadas quanto à aceitação (modelo de Ficha na Figura 1A, do Anexo A) por 95 consumidores do produto (41 homens e 44 mulheres), utilizando escala hedônica estruturada de nove pontos. Na ficha de avaliação solicitou-se, ainda, aos provadores citar o que eles mais gostaram e o que menos gostaram de cada amostra. As notas, obtidas do teste de aceitação, foram analisadas por meio de mapa de preferência interno e os dados relativos aos que os provadores citaram mais gostar foram analisados por meio de análise de componentes principais. As análises estatísticas foram realizadas no programa Matlab, N-Way tool Box.

#### **3.4.17 Análises estatísticas dos pellets**

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA), usando o teste de distribuição F, segundo o qual um modelo de regressão é significativo, quando o teste F calculado é maior ou igual ao do teste F tabelado e, quanto maior o teste F calculado, mais preditivo é o modelo (BOX; WETZ, 1973).

O processamento de dados e a análise estatística foram realizados com auxílio do programa computacional *Statística*, versão 6.0, com as variáveis independentes codificadas.

Considerando a equação de regressão obtida por esta técnica e variando-se duas variáveis, foi possível elaborar gráficos tridimensionais de superfície de resposta, com auxílio do programa *Statística*, versão 6.0. Vale ressaltar que os gráficos de superfície de resposta foram elaborados com os valores reais das variáveis independentes.

### 3.5 Delineamento experimental dos snacks

A metodologia de superfície de resposta, caracterização e estatística dos snacks estão descritas a seguir.

#### 3.5.1 Metodologia de superfície de resposta dos snacks

Para analisar o efeito combinado das variáveis: % do concentrado proteico de soro (WPC) ou do isolado proteico (WPI) e a variação de rotação do parafuso nas características tecnológicas dos snacks, estabeleceu-se um experimento estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo central composto rotacional de 2ª ordem (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978). Ao introduzir estes delineamentos no estudo de polinômios de segundo grau, ajustados a dados experimentais, objetivou-se minimizar o número de tratamentos. Os parâmetros do processo estabelecidos como variáveis foram estudados em três níveis codificados em (-1, 0, +1) calculados de acordo com a equação 15:

$$xi = \left( \frac{Xi - Z}{\Delta xi} \right) \quad (15)$$

em que:

xi = valor codificado da variável Xi;

Xi = valor real da variável;

Z = valor real da variável no ponto central;

$\Delta xi$  = valor do intervalo de variação do xi.

Este delineamento apresenta dois níveis de variáveis (2) axiais, que são codificados como  $-\alpha$  e  $+\alpha$ . O valor de  $\alpha$  é a função  $(F=2^k)$  do número de variáveis independentes ( $K=2$ ), no caso deste experimento, sendo definida conforme a equação 16:

$$\alpha = (F)^{\frac{1}{4}} = (2^K)^{\frac{1}{4}} = (2^2)^{\frac{1}{4}} = 1,4142 \quad (16)$$

A escolha do número de ensaios em um experimento central composto baseado em um experimento fatorial completo é  $n = 2^k + 2K + m$ , em que:

$2^k$  = número de pontos fatoriais

$2K$  = número de pontos axiais (de estrela)

$m$  = número de replicações do ponto central

Os valores máximos e mínimos de cada variável independente foram estabelecidos dentro das possibilidades operacionais do processo de extrusão e com base em estudos anteriores. Para análise de resultados experimentais, a metodologia descreve o comportamento de um sistema no qual estão combinadas as variáveis independentes ( $X_k$ ), a variável dependente ou resposta ( $Y_i$ ). A resposta é uma função dos níveis nos quais estes fatores foram combinados e definidos por Box e Draper (1967) como se segue na Equação 17:

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (17)$$

Por intermédio de uma análise de regressão, pode ser ajustado, para cada resposta ( $Y$ ), um polinômio de segunda ordem como as variáveis explicativas ( $X_k$ ). A expressão geral, utilizada para prever o comportamento de cada resposta avaliada, pode ser descrita da seguinte forma (Equação 18):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_{12} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{12} X_1 X_2 + \epsilon \quad (18)$$

em que:

$Y_i$  = função resposta

$X_1, X_2$  = valores das variáveis independentes;

$\beta_0$  = coeficiente relativo à interpretação do plano com o eixo resposta;

$\beta_1, \beta_2$  = coeficientes lineares estimados pelo método dos mínimos quadrados;

$\beta_{11}, \beta_{22}$  = coeficientes das variáveis quadráticas;

$\beta_{12}$  = coeficiente de interação entre as variáveis independentes;

$\epsilon$  = erro experimental

O experimento foi conduzido num delineamento fatorial completo  $2^2$  com dois fatores ou variáveis dependentes (porcentagem de concentrado ou de isolado proteico de soro e temperatura). Assim, neste experimento foram usados 11 tratamentos, sendo 4 fatoriais (combinações dos níveis -1 e +1), 4 axiais (uma variável no nível  $\pm \alpha$  e a outra no nível 0) e três centrais, servindo como estimativa do erro experimental e determinar a precisão do modelo matemático (CROCHAN; COX, 1964).

Tanto os níveis codificados quanto os axiais ( $-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$ ) e os fatores têm seus valores reais apresentados na Tabela 9 e o delineamento completo na Tabela 10. As faixas entre o limite inferior e o superior, para cada nível, foram determinadas por testes preliminares.

Tabela 9 Níveis das variáveis independentes estudadas no processo de extrusão dos snacks de grits de milho e WPC/WPI

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha = 1,414$	-1	0	+1	$+\alpha = 1,414$
X <sub>1</sub>	0,001	4,1	14	23,9	27,99
X <sub>2</sub>	298,096	313	349	385	399,904

X<sub>1</sub> = Concentrado ou isolado proteico, WPC/WPI (%) X<sub>2</sub> = Rotação parafuso (RPM)

Tabela 10 Delineamento completo do desenho experimental dos snacks de grits de milho e WPC/WPI

Tratamentos	Níveis codificados das variáveis		Níveis decodificados variáveis	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	WPC/WPI (%)	Rotação (RPM)
01	-1	-1	4,1	313
02	-1	1	4,1	385
03	1	-1	23,9	313
04	1	1	23,9	385
05	-1,4142	0	0,001	349
06	1,4142	0	27,99	349
07	0	-1,4142	14	298,096
08	0	1,4142	14	399,904
09	0	0	14	349
10	0	0	14	349
11	0	0	14	349

X<sub>1</sub> = concentrado ou isolado proteico, WPC/WPI (%), X<sub>2</sub> = rotação parafuso, RPM

### 3.5.2 Condicionamento das amostras dos snacks

As amostras de matérias-primas foram condicionadas para os diferentes níveis de concentrado/isolado proteico de acordo com o delineamento experimental (Tabela 8) e o teor de umidade final fixo de 12%, determinado por testes preliminares.

Após a determinação da umidade inicial das matérias-primas (gritz de milho e concentrado/isolado proteico de soro) por método de balança rápida, as mesmas foram pesadas em sacos plásticos de acordo com a formulação, e a quantidade de água adicionada foi obtida pelas equações 19 e 20. Após isto, as amostras foram homogeneizadas por 3 minutos e acondicionadas por 24 horas sob refrigeração, para se obter uma distribuição e absorção mais uniforme da água.

$$U_i = \frac{(\%WPC / WPI \times \%umidade) + (\%gritzmilho \times \%umidade)}{100} \quad (19)$$

$$Y = \frac{(U_f - U_i \times Pa)}{100 - U_f} \quad (20)$$

em que:

Y = quantidade de água a ser adicionada (ml);

U<sub>f</sub> = umidade final

U<sub>i</sub> = umidade inicial da amostra (%)

Pa = peso da amostra

### 3.5.3 Processo de extrusão de snacks

Na elaboração dos snacks foi utilizado a extrusora monorosca da marca Imbramaq, modelo RX 50 (Ribeirão Preto, SP - Brasil) com capacidade de produção de 50 Kg h<sup>-1</sup>, equipada com matriz circular de 4 furos de 1mm de diâmetro. Após sair da matriz, os snacks foram cortados por meio de um cortador acoplado ajustado à velocidade máxima.

A rotação do parafuso foi variada de acordo com o delineamento experimental (Tabela 10). Após a estabilização da extrusora e uniformidade na aparência dos snacks, estes foram levados à estufa de circulação de ar forçada a 45°C por 7 horas para se obter uma umidade de 5%-8% recolhidos em sacos plásticos de polietileno impermeável para posteriores análises.

Para a realização das análises, as amostras foram trituradas em dois moinhos. Primeiramente foi utilizado o moinho de disco da marca Laboratory Mill 3600 (Perten Instruments, Kungens Kurva, Suécia) com abertura de peneira de 0,8mm e, logo em seguida, triturada em moinho de faca da marca Perten 3600 (Perten Instruments, Kungens Kurva, Suécia) com abertura de peneira equivalente a 1,0mm, obtendo-se a farinha dos extrusados. Para as análises de viscosidade de pasta, calorimetria diferencial de varredura e cor foi realizado o peneiramento das amostras no conjunto de peneiras do agitador Granutest. A fração retida na peneira de abertura de malha de 0,105mm foi a utilizada.

Para as análises de composição centesimal (umidade, extrato etéreo, proteína, cinzas e fibra alimentar), as amostras foram trituradas na forma de farinha com auxílio de gral e pistilo. Para a análise sensorial dos snacks, eles foram temperados com 1% de sal e homogeneizados manualmente dentro dos próprios sacos. A Figura 5 representa um fluxograma de produção dos snacks e da farinha de snacks.

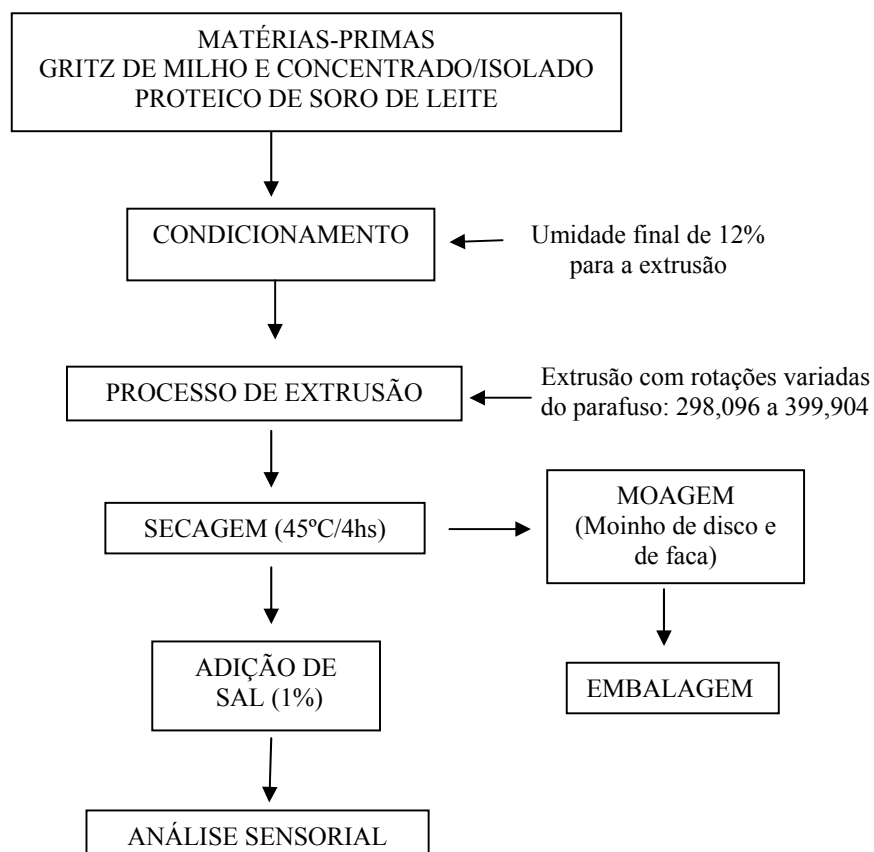


Figura 5 Fluxograma de produção dos snacks e farinha de snacks de gritz de milho e WPC/WPI

### 3.6 Análises dos snacks

A caracterização dos snacks está descrita a seguir.



### 3.6.1 Índice de expansão radial e densidade

A expansão radial e longitudinal foi feita com o auxílio de um paquímetro, onde se mediu o comprimento e diâmetro de 10 snacks. Para se calcular o índice de expansão radial (IER) foi utilizada a metodologia descrita por Alvarez-Martinez et al. (1988) e utilizou-se a equação 21. A densidade foi calculada por meio da equação 22, de acordo com Fan, Mitchell e Blanshard (1996).

$$\text{IER} = \frac{(D)^2}{(D_0)^2} \quad (21)$$

$$\text{Densidade } (\rho) = \frac{4m}{\pi D^2 L} \quad (22)$$

Em que:

D – diâmetro do extrudado quando atingiu a temperatura ambiente;

D<sub>0</sub> – diâmetro da matriz (neste caso a matriz é radial);

m – massa/peso do extrudado;

L – comprimento do extrusado

### 3.6.2 Cor

Igual ao item 3.4.2

### 3.6.3 Textura

Para a determinação da textura, foi utilizado o texturômetro Texture Analyser TA. HDi (Stable Micro Systems, UK), aplicando-se o teste de punctura (medida de força em compressão) com os seguintes parâmetros: probe cilíndrica P2 de 2mm de diâmetro e 36mm de comprimento, velocidade de teste de 1 mm/s, velocidade pós-teste de 10 mm/s e distância percorrida foi de 50% do seu diâmetro médio original (medido na expansão radial), de acordo com metodologia sugerida por Bouvier, Bonneville e Goullieux (1997) de avaliação de crocância dos extrusados. Foram realizados 5 repetições de cada amostra. Os dados obtidos foram analisados pelo programa de textura Tex32, obtendo-se a força (N) do pico e a área, considerando-se a força e a distância (mm). O pico da força representa a resistência inicial da penetração geométrica e a dureza do extrusado; e a área inferior à curva é a energia requerida para o deslocamento dado. Foram utilizadas as equações abaixo:

$$\text{Frequência das rupturas (Nsr)} = \frac{No}{d} \quad (23)$$

$$\text{Força específica das rupturas (Fsr)} = \sum \frac{\Delta F}{No} = \text{Average Drop Off} \quad (24)$$

$$\text{Força de compressão (F)} = \frac{A}{d} \quad (25)$$

$$\text{Trabalho (Wc)} = \frac{F}{Nsr} \quad (26)$$

Em que:

$No$  é o número total de picos

$\Delta F$  é a força de queda aplicada gerada por cada pico (N)

$d$  é a distância que o produto foi comprimido (mm)

$A$  é a área sob a curva da força que provocou a deformação (mm<sup>2</sup>)

### **3.6.4 Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)**

Similar ao item 3.4.4

### **3.6.5 Viscosidade de pasta**

Similar ao item 3.2.9. Foram analisados os seguintes parâmetros: viscosidade inicial, viscosidade máxima no final da rampa de aquecimento , viscosidade mínima na fase constante, breackdown e setback.

#### **3.6.6.1 Umidade**

Igual ao item 3.2.1

#### **3.6.7 Extrato etéreo**

Igual ao item 3.2.2

#### **3.6.8 Proteínas**

Igual ao item 3.2.3

#### **3.6.9 Fibra alimentar**

Igual ao item 3.2.3

### **3.6.10 Cinzas**

Igual ao item 3.2.4

### **3.6.11 Carboidratos totais**

Igual ao item 3.2.6

### **3.6.12 Valor Calórico**

Igual ao item 3.2.7

### **3.6.13 Aminoácidos**

Igual ao item 3.2.8

### **3.6.14 Análise sensorial**

A análise sensorial para os snacks foi semelhante à realizada nos pellets (item 3.4.16), porém, as amostras escolhidas foram os tratamentos: 01, 02, 04, 05, 07 e 12 dos snacks com WPC e os mesmos tratamentos para os snacks com WPI.

## **3.7 Análises estatísticas**

A significância do modelo foi testada pela análise de variância (ANOVA) usando o teste de distribuição F, segundo o qual um modelo de regressão é significativo quando o teste F calculado é maior ou igual ao do teste F tabelado e, quanto maior o teste F calculado, mais preditivo é o modelo (BOX; WETZ, 1973).

O processamento de dados e a análise estatística foram realizados com auxílio do programa computacional Statística, versão 6.0, com as variáveis independentes codificadas.

Considerando a equação de regressão, obtida por esta técnica e variando-se duas variáveis, foi possível elaborar gráficos tridimensionais de superfície de resposta com auxílio do programa Statística, versão 6.0. Vale ressaltar que os gráficos de superfície de resposta foram elaborados com os valores reais das variáveis independentes.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização dos griz de milho, concentrado (WPC) e Isolado (WPI) proteico de soro lácteo

A seguir serão descritos a composição centesimal, aminoácidos e calorimetria diferencial de varredura das matérias-primas.

#### 4.1.1 Composição centesimal e valor calórico

A composição centesimal (umidade, extrato etéreo, proteínas, fibra alimentar, cinzas, carboidratos) e valor calórico, em base integral das matérias-primas utilizadas neste trabalho, estão na Tabela 11.

Tabela 11 Composição centesimal e valores calóricos médios do griz de milho, concentrado proteico de soro (WPC) e isolado proteico de soro (WPI) na matéria integral em g 100g<sup>-1</sup>

Componentes	Gritz de milho	WPC	WPI
Umidade	12,41	9,93	11,21
Extrato etéreo	0,41	0,52	0,55
Proteína	6,85	69,23	77,96
Cinzas	0,59	2,50	2,40
Fibra alimentar	4,46	0	0
Carboidrato	75,28	17,82	7,88
Valor Calórico	332,21	352,88	348,31

O teor de umidade de 12,41g 100<sup>-1</sup> encontrado para o griz de milho pode ser considerado normal para este produto. Segundo Gonçalves (2001), o

milho deve ser padronizado para um teor de umidade de 12% para ser transformado em gritz pelo processo de moagem a seco. De acordo com Rocker e Huber (1987 citado por ASCHERI, 2007), o teor de umidade médio para o gritz de milho degerminado para a produção de snacks é de  $13\text{ g }100\text{g}^{-1}$ , valor próximo ao obtido neste trabalho.

Os teores obtidos de extrato etéreo, proteína e cinzas do gritz de milho estão dentro dos padrões médios estipulados para esta matéria-prima. Segundo Ascheri (2007), gritz de milho degerminado de granulometrias diferentes para a produção de snacks podem apresentar valores de  $0,72$  a  $0,90\text{ g }100\text{g}^{-1}$  para lipídeos,  $6,75$  a  $8,25\text{ g }100\text{g}^{-1}$  para proteínas e  $0,29$  a  $0,36\text{ g }100\text{g}^{-1}$  para cinzas. Pequenas variações nos valores encontrados podem ser em virtude das diferenças nas condições de solo, cultivo, clima e variedades que podem resultar em diferenças na composição dos alimentos (BATH; DUNBAR; KING, 1999).

O teor de 4,46% de fibra alimentar foi menor do que o do milho de pipoca cru, segundo a Tabela Brasileira de composição de alimentos (USP), porém, foi próximo do valor de fubá cru (4,04%). Os resultados foram coerentes, pois, tanto o gritz de milho como o fubá são degerminados e parte do pericarpo (fração do grão em que se concentra a maior parte da fibra) são retirados para a obtenção dos mesmos. Os teores de carboidratos e valor calórico obtidos neste trabalho foram próximos ao encontrado por Callegaro et al. (2005) para a canjica degerminada ( $77,98\text{ g }100^{-1}$  e  $343\text{ Kcal}$ , respectivamente). Segundo Alexander (1973), o teor de carboidratos médio encontrado para milho e gritz de milho degerminado, utilizado na indústria moageira, é de  $71,7\text{ g }100\text{g}^{-1}$  e  $88\text{ g }100\text{g}^{-1}$ , respectivamente.

O WPC e WPI são armazenados em sacos e na forma de pó e seus teores de umidade foram abaixo de 11,5%. Segundo Leitão (1990), teores entre 12 e 13% de umidade, são ideais para o armazenamento de farinhas, pois, valores



acima de 14% tendem a formar grumos, dificultando a sua utilização em processos de produção.

Os teores de umidade do WPC e do WPI de 11,21% foram maiores do que o especificado pelo fabricante (4,30% e 4,00%), porém, há que se ressaltar que os mesmos foram armazenados em câmara fria (8°C) em sacos apenas fechados com presilhas, durante todo o seu período de utilização, que tende a aumentar os teores de umidade dos mesmos. Condições ambientais, também, podem favorecer o ganho ou perda de umidade dos alimentos. Para o extrato etéreo foram encontrados valores próximos para o WPC e o WPI. De acordo com Kinsella e Whitehead (1989), o WPC pode apresentar valores de até 8 g 100g<sup>-1</sup> de lipídeos e o WPI até 1,0 g 100g<sup>-1</sup> do mesmo nutriente. Utilizando as mesmas matérias-primas na elaboração de expandidos de milho, Onwulata et al. (2001) obtiveram 78,7 g 100g<sup>-1</sup> de proteína para o WPC e 93,6 g 100g<sup>-1</sup> de proteína para o WPI, respectivamente, valores superiores ao encontrado neste trabalho. Os valores finais de proteínas em WPC e WPI podem variar em virtude do processo utilizado para a obtenção dos mesmos (MORR, 1985; NICHOLS; MORR, 1985). O valor obtido de cinzas do WPC foi bem próximo do valor médio estipulado pelo fabricante do produto (2,84 g 100g<sup>-1</sup>) e o teor de 2,40g 100g<sup>-1</sup> para o mesmo resíduo mineral fixo do isolado proteico foi próximo aos 2% obtido por Nichols e Morr (1985).

#### **4.1.2 Aminoácidos**

O perfil de aminoácidos do griz de milho, do WPC e do WPI em g por 100g<sup>-1</sup> do produto e em g por 100g<sup>-1</sup> de proteína em base seca estão na Tabela 12. Os teores aminoacídicos em g 100g<sup>-1</sup> de proteína, apresentados pelo griz de milho, foram muito bons, e os aminoácidos essenciais leucina, fenilalanina e tirosina superaram o padrão FAO (1990) para crianças de 2 a 5 anos de idade.

Os aminoácidos histidina, isoleucina e valina, também, tiveram altos valores, chegando atingir até 90% da meta estipulada como ideal pela FAO (1990). Assim como ocorre em outros cereais, a lisina é o aminoácido limitante, como pode ser observado nos resultados obtidos para a mesma. Portanto, faz-se necessário, em dietas alimentares, a complementação da proteína vegetal, por outros tipos de proteína, como a animal.

Os resultados dos aminoácidos essenciais do griz de milho, lisina e valina, obtidos neste trabalho, estão pouco acima do encontrado por Pires et al. (2006) para o fubá de milho (2,596 e 2,734 g 100g<sup>-1</sup> de proteína, respectivamente). Porém, segundo o mesmo autor, os aminoácidos aromáticos (fenilalanina mais tirosina), histidina, isoleucina, leucina e treonina apresentaram teores superiores (9,892, 3,183, 2,335, 13,478 e 2,46 g 100g<sup>-1</sup> de proteína, respectivamente). Vale ressaltar que ambas as matérias-primas (grits e fubá) são degerminadas, porém, o processo tecnológico por que passam podem influenciar os teores nutricionais de ambas, além das diferenças de variedades, cultivares e solo.

Os teores de aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> do WPI foram superiores, quando comparados ao do WPC, resultado coerente quando comparamos os teores de proteínas de ambos (Tabela 12). Observamos, ainda, que os valores obtidos por ambos superaram todos os valores de aminoácidos do griz de milho, que pode ser confirmado, também, pelos teores totais obtidos das três matérias-primas. Porém, apesar do alto teor proteico do WPC e do WPI, os aminoácidos essenciais de ambos não atingiram os valores recomendados pela FAO (1990) para crianças de 2 a 5 anos. Os resultados sugerem que há grande perda de aminoácidos essenciais, durante os processos de obtenção dos concentrados e isolados, resultando em baixa qualidade da proteína.

Tabela 12 Aminoácidos presentes no griz de milho, concentrado proteico de soro (WPC) e isolado proteico de soro (WPI) em g 100g<sup>-1</sup> de amostra e g 100g<sup>-1</sup> de proteína na matéria seca

Aminoácidos <sup>1</sup>	Griz de milho		WPC		WPI		FAO <sup>2</sup>
	3	4	3	4	3	4	4
Histidina	0,134	1,72	0,373	0,485	0,417	0,489	1,9
Isoleucina	0,149	1,908	0,885	1,151	1,028	1,206	2,8
Leucina	0,662	8,46	1,56	2,030	1,808	2,121	6,6
Lisina	0,059	0,763	0,715	0,931	0,839	0,985	5,8
Fenilalanina	0,274	3,499	0,869	1,132	1,058	1,241	6,3*
		(6,36)*		(2,04)*		(2,46)*	
Tirosina	0,224	2,863	0,696	0,905	1,043	1,223	*
Treonina	0,134	1,717	nd	nd	1,709	2,004	3,4
Valina	0,219	2,799	0,845	1,099	1,014	1,189	3,5
Metionina e	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,5
Cisteína							
Triptofano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,1
Asparagina	0,258	3,308	1,263	1,643	1,421	1,667	----
Serina	0,224	2,863	0,855	1,112	0,889	1,043	----
Glutamina	0,921	11,772	1,526	1,985	1,724	2,022	----
Glicina	0,134	7,821	0,298	0,388	0,273	0,320	----
Arginina	0,174	2,226	nd	nd	0,497	0,583	----
Alanina	0,353	4,517	0,621	0,808	0,691	0,809	----
Prolina	0,503	6,426	0,939	1,222	1,207	1,415	----
Aminoácidos totais	4,424	56,56	11,45	14,89	15,62	18,32	

<sup>1</sup>Média de duas determinações.

<sup>2</sup>Recomendado para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos (FAO, 1990).

<sup>3</sup>g 100g<sup>-1</sup> de amostra

<sup>4</sup>g 100g<sup>-1</sup> de proteína

\* Soma dos aminoácidos fenilalanina e tirosina

nd Não foi possível determinar.

#### 4.1.3 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A calorimetria diferencial de varredura (DSC) é um método que permite obter informações acerca das propriedades térmicas do amido (EVANS, 1986; LARSSON; ELIASSON, 1991; SASAKI; YASUKI; MATSUKI, 2000).

É uma análise particularmente bem conceituada na investigação de transições de fase de sistemas amido/água, pois, permite: (1) um estudo da gelatinização do amido em larga razão amido/água; (2) determinação de temperaturas de gelatinização acima de 100°C; e (3) estimativa de entalpias de transição (BILIADERIS; MAURICE; VOSE, 1980).

As temperaturas iniciais ( $T_0$ , °C) e máximas ( $T_p$ , C°) do pico endotérmico de gelatinização/desnaturação e entalpias endotérmica de fusão (J/g) obtidas por DSC das matérias-primas utilizadas neste trabalho estão na Tabela 13.

A temperatura inicial de fusão da região cristalina do griz de milho foi de 66,01°C, resultado dentro da faixa de gelatinização encontrada para o amido de milho nativo. Segundo Ciacco e Cruz (1982), a faixa de temperatura de gelatinização para o milho é de 62°C à 72°C. A temperatura que caracteriza o máximo do processo de gelatinização ( $T_p$ ) foi de 74,54°C e entalpia ( $\Delta E$ ) gasta para gelatinizar o amido foi de 5,776J/g. para o griz de milho. Esses resultados foram próximos aos encontrados por Elgadir et al. (2009) e Ratnayake e Jackson (2007) para amido de milho nativos. Vários fatores podem afetar a temperatura inicial e de pico da gelatinização e a entalpia de fusão, sendo os mais importantes: conteúdo de umidade, temperatura, fonte amilácea, entre outros (CHIANG; JOHNSON, 1977).

Tabela 13 Temperaturas iniciais ( $T_0$  °C) e máximas ( $T_p$  °C) do pico endotérmico de gelatinização/desnaturação, entalpia ( $\Delta H$ ) endotérmica de gelatinização/desnaturação (J/g) do griz de milho, WPC e WPI

Amostras	$T_0$ (°C)	$T_p$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
Gritz de milho	66,01	74,54	5,776
WPC	69,66	78,59	6,649
WPI	72,22	77,13	2,7580

Em soluções aquosas, as proteínas do soro existem em conformações globulares, compactas e organizadas, cujos maiores responsáveis por manter essa estrutura são as interações hidrofóbicas, ligações de hidrogênio, interações nos pares iônicos e interações de van der Waals (FOX; MCSWEENEY, 2003). Mudanças na temperatura e condições das soluções causam a desnaturação das proteínas, com conseqüente perda da estrutura nativa, transformando-se numa estrutura desordenada e aleatória. Este desdobramento das proteínas globulares é acompanhado por um efeito de calor endotérmico, que pode ser observado por calorimetria diferencial de varredura (DSC). As temperaturas iniciais de desnaturação do WPC e do WPI foram de 69,66°C e 72,22°C, respectivamente, e estão de acordo com Kinsella e Whitehead (1989), que estipularam uma faixa de 62°C à 78°C para estas temperaturas. A variação dos valores das temperaturas de fusão inicial e de pico podem ser influenciadas pelos fatores pH, força iônica, a taxa de aquecimento e, em menor medida, pela concentração de proteína e lactose. Harper e Zadow (1984) submeteram à desnaturação, moléculas de imunoglobulinas e albumina de soro bovino a 72°C por 15 segundos. A desnaturação, progressivamente, aumentou para todas as proteínas a 72°C por 5 minutos e atingiu extensiva desnaturação após 5 minutos entre temperaturas de 70°C a 85°C. A variação dos valores de  $T_0$ ,  $T_p$  e  $\Delta H$  entre o WPC e WPI pode

ser decorrente da diferença da composição dos mesmos. Por causa da heterogeneidade das proteínas constituintes do soro de leite em produtos comerciais (WPC e WPI), eles podem exibir diferentes respostas quando aquecidos. De acordo com Dewit e Klarenbeek (1984), a desnaturação térmica e agregação do total de proteínas refletem uma resposta coletiva dos componentes da proteína.

#### **4.2 Caracterização dos pellets elaborados com concentrado protéico de soro lácteo (WPC)**

As análises de densidade absoluta, densidade, cor, textura, ISA, IAA, viscosidade de pasta, calorimetria diferencial de varredura, difratômetro de raio-x, composição centesimal e aminoácidos dos pellets serão descritos a seguir.

##### **4.2.1 Densidade absoluta, densidade dos pellets não-expandidos e expandidos**

A densidade de um material sólido pode ter várias definições mas, de acordo com a técnica de picnometria de gás utilizada neste trabalho, foi determinada a densidade absoluta dos pellets não expandidos. Sendo assim, sua definição seria a massa da partícula dividida pelo seu volume, excluindo os poros abertos e fechados (WEBB, 2001). A análise de variância da densidade absoluta (Tabela 1B, do Anexo B) foi significativa a 5% ( $p < 0,05$ ), onde apenas a variável linear e quadrática do teor de WPC influenciaram nesta análise. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,90038.

A Figura 06 mostra a influência da variável WPC na densidade absoluta dos pellets, cujos teores de 5 a 17% de WPC forneceram pellets mais densos e a partir daí conforme se aumentou a proteína houve uma queda progressiva da densidade.

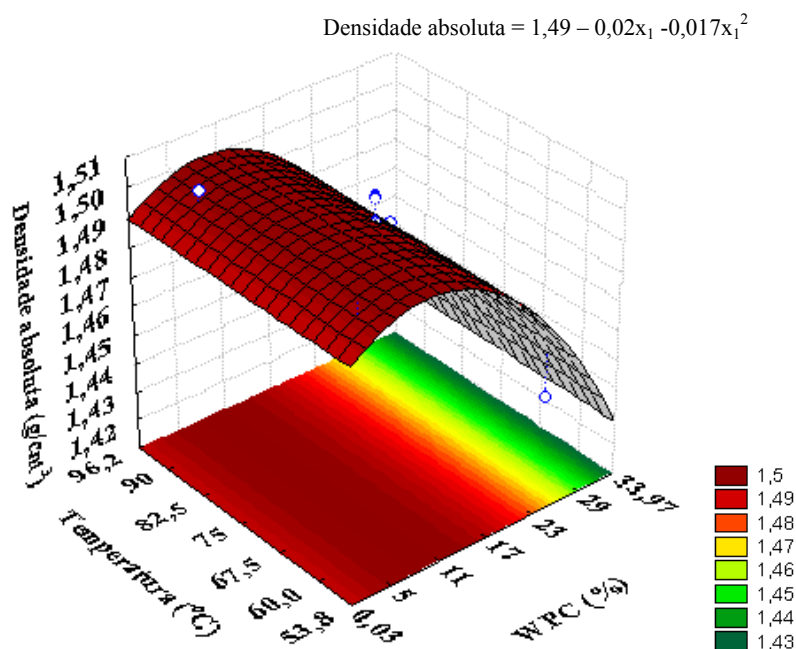


Figura 6 Efeito do WPC na densidade absoluta dos pellets de grits de milho

A extrusão fornece condições de gelatinização do amido, polimerização de proteínas e vínculo transitório de moléculas para formar matrizes expandidas (ROSSI; PERI, 1980). A estrutura de produtos expandidos diretos (snacks) por extrusão depende, principalmente, da gelatinização do amido e da subsequente expansão do vapor de água originada pela queda de pressão na saída do material pela matriz do extrusor. Quando o amido fundido sai pela matriz, a passagem repentina da umidade interna para o estado gasoso, em decorrência da queda de pressão, que causa uma expansão do produto (ASCHELI, 2007). Porém, na elaboração de produtos intermediários, ou pellets, os produtos, ao saírem da extrusora, apresentam estrutura laminar (de acordo com o formato desejado) sem

expansão, apresentando apenas certo grau de gelatinização (CARVALHO et al, 2010), em consequência das condições de alta umidade (37%), temperaturas mais baixas no extrusor (50°, 100° e 75°C, para 1ª, 2ª e 3ª zonas, respectivamente), rotação controlada do parafuso (100 rpm) e tempo curto de permanência no extrusor. A substituição do griz de milho pelo WPC diminui a densidade da massa formada, durante o processo de extrusão, causado pelo efeito diluidor do amido, diminuindo a densidade absoluta dos pellets.

A densidade aparente dos pellets não-expandidos, também, foi analisada pelo método da relação do peso de pellets pelo volume dos mesmos medidos pelo deslocamento de sementes de painço em proveta graduada. As variáveis WPC e temperatura não influenciaram, significativamente, ao nível de 5% ( $p \geq 0,05$ ) na densidade aparente dos pellets não expandidos. Sua análise de variância se encontra na Tabela 1B, do Anexo B. O valor médio encontrado para a densidade dos pellets não expandidos foi de 1,008 g cm<sup>-3</sup>. Esse valor está próximo ao obtido por Silva (2004) para pellets não-expandidos com teores variados de água e sacarose. Os pellets, ao saírem da extrusora, possuem espessura e forma de acordo com as características da matriz, praticamente sem nenhuma expansão, acarretando valores próximos entre eles. Ao compararmos os resultados obtidos aqui, com os obtidos pela densidade absoluta (variação de 1,4362 à 1,5012 g/cm<sup>3</sup>), verifica-se maior densidade desta última. Isto pode ser justificado pela diferença entre os métodos utilizados. No método da densidade absoluta, o gás hélio do aparelho picnômetro penetra pelos poros abertos e fechados dos pellets, descontando-os do volume total, apresentando, portanto, maiores valores de densidade. A metodologia do deslocamento de sementes em proveta mede apenas o volume externo, não contabilizando poros, irregularidades ou mesmo todos os espaços internos e externos que possam existir nos pellets.



Para a densidade dos pellets fritos ou expandidos, as variáveis teor de proteína e temperatura lineares influenciaram, significativamente ( $p < 0,05$ ), esta análise e sua análise de variância se encontra na Tabela 2B, do Anexo B. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8758.

A Figura 7 representa o efeito das variáveis WPC e temperatura da última zona do extrusor na densidade dos pellets expandidos. Observa-se que maiores teores de WPC causaram aumento na densidade dos pellets e o mesmo efeito positivo teve a temperatura neste parâmetro. Isso pode ser explicado pelo fato de que maiores teores de WPC diminuem o teor de amido e a gelatinização do mesmo é uma das responsáveis pelo aumento de volume e consequente diminuição da densidade. Verifica-se que a densidade é inversamente proporcional à expansão, ou seja, produtos mais densos são menos aerados e expandidos. Esta última é influenciada pelas mudanças físico-químicas que ocorrem, durante a extrusão, como o grau de gelatinização (CHINNASWAMY; BHATTACHARYA, 1983; MERCIER; FEILLET, 1975) e de degradação molecular do amido (CAI; DIOSADY, 1993; GOMEZ; AGUILERA, 1983; KIRBY et al., 1988). Portanto, as variáveis que influenciam o volume dos expandidos são a temperatura de extrusão, a umidade, a velocidade de rotação e configuração do parafuso e a geometria da matriz (BHATTACHARYA; HANNA, 1987; COLONNA; TAYEB; MERCIER, 1989; GOGOI; YAM, 1994; KIRBY et al., 1988; ; LAUNAY; KONE, 1984; MERCIER; FEILLET, 1975; OWUSU-ANSAH; VAN DE VOORT; STANLEY, 1983). Maiores temperaturas da 3ª zona do extrusor pode ter provocado maior desnaturação das proteínas com consequente aumento das interações proteína-proteína e proteína-amido, prejudicando a expansão.

$$\text{Densidade expandido} = 0,37 + 0,09x^1 + 0,04x^2$$

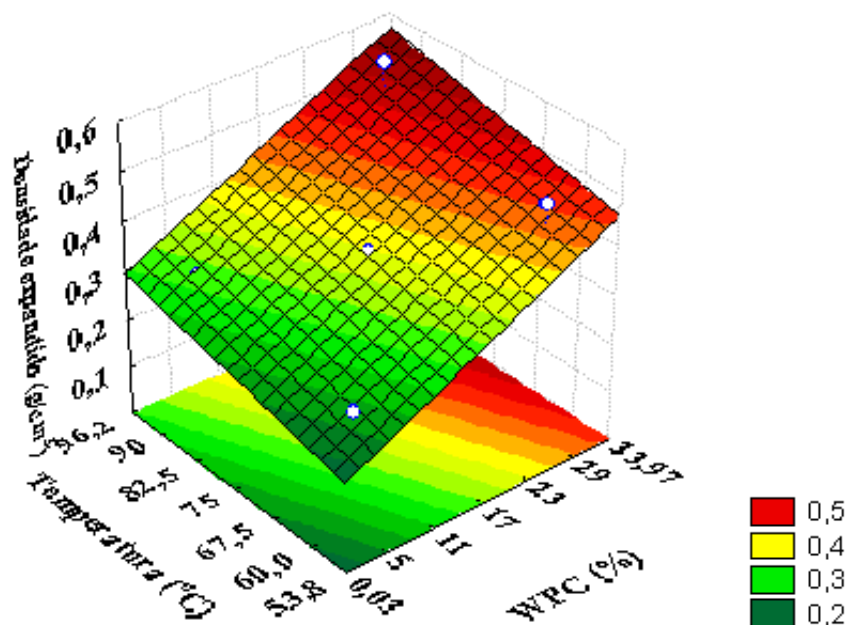


Figura 7 Efeito da variável quantitativa proteína (%) e temperatura (°C) na densidade do expandido dos pellets concentrado proteico de soro (WPC) e grãos de milho

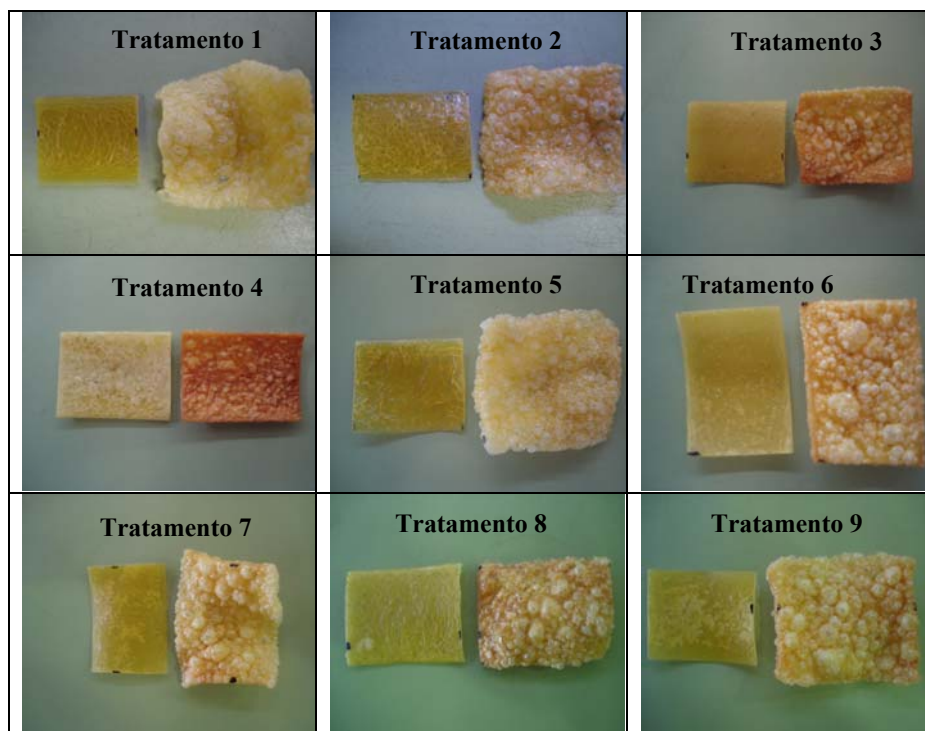
Ao se comparar a densidade dos pellets não-expandidos (0,894 à 1,197  $\text{g/cm}^3$ ) com a dos pellets expandidos (0,241 a 0,5716  $\text{g/cm}^3$ ), verifica-se uma grande redução das densidades dos pellets, fato explicado pelo calor da fritura que provoca a gelatinização do amido e conseqüente expansão dos pellets. De acordo com Dogan e Karwe (2003), o calor absorvido, durante a fritura dos extrusados não-expandidos, contribuiu para a quantidade de calor necessária para converter os grânulos de amido, parcialmente cozidos por extrusão, em uma estrutura inchada típica do processo de extrusão à alta temperatura, curto período de tempo e baixo teor de água. A temperatura é um dos parâmetros que contribui

para diminuir a densidade dos produtos amiláceos e que dá a crocância, uma característica muito apreciada pelos consumidores

#### **4.2.2 Imagens dos pellets**

O quadro 1 ilustra as imagens dos tratamentos dos pellets não-expandidos e expandidos de griz de milho e WPC. Quando se comparam os T1 (5% WPC e 60°) e T2 (5% WPC e 90°C), observam-se expansões próximas, porém, cores mais escuras no T2. A maior temperatura da 3ª zona do extrusor do T02 pode ter aumentado a reação de Maillard, desencadeando cores mais escuras após a expansão por fritura. O T1 apresentou resultado bem semelhante ao do tratamento só de milho. Os T3 e T4, que possuem maior teor de WPC (29%), apresentaram expansão reduzida quando comparados aos demais tratamentos e, assim, conforme relatado anteriormente a temperatura mais alta do extrusor escureceu ligeiramente o T4. O T05 foi o que apresentou cor mais clara, bem amarelada, típica de expandidos de milho. O teor de 34% de WPC no T6 produziu pellets de pequena expansão e cor escura, semelhante aos T3 e T4. Os T7 (17% WPC e 53,8°C) e T8 (17% e 96,2°C) apresentaram expansão, tamanho das bolhas e cores próximas. O T9 (17% WPC e 75°C) apresentou ligeira melhora na expansão quando comparado aos T7 e T8, porém, de similar coloração.

Quadro 1 Imagens do pellets extrusados antes e depois da fritura



#### 4.2.3 Cor dos pellets expandidos

A cor é um importante fator de qualidade e está diretamente relacionado à aceitabilidade dos produtos alimentícios e é uma importante propriedade física para a avaliação dos produtos extrusados (ALTAN; MCCARTHY; MASKAN, al., 2009).

A formação de cor, durante o processo de extrusão, proporciona importante informação a respeito do grau de tratamento térmico e, também, está diretamente relacionada com a composição da formulação (LINKO et al., 1981). Condições severas resultam em produtos mais escuros, com valores de

luminosidade menores e aumentos nos valores das coordenadas a e b (BADRIE; MELLOWS, 1991).

Para a análise de diferença de cor ( $\Delta E$ ), os níveis de proteína e temperatura estudados não influenciaram significativamente ( $p \geq 0,05$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 2B do Anexo B. A média do  $\Delta E$  dos tratamentos para a amostra padrão (tratamento 5) foi de 14,23. Quando se observam as imagens dos pellets do quadro 1, verificam-se cores diferentes entre os tratamentos dos pellets, mas a estatística não apontou diferenças entre eles. Porém, ao se observar, isoladamente, os valores de luminosidade (L), cromaticidade a e b, (Tabela 13) observam-se certas tendências de cores entre os pellets. Para o L que representa a claridade de cor, onde o 0 indica cor totalmente preta e 100 indica cor totalmente branca, produziram valores aleatórios, em que apenas os T9, T10 e T11 apresentaram resultados próximos. Para a cromaticidade a, que mede a intensidade das cores vermelhas (valores positivos) e verdes (valores negativos), pode-se observar algumas tendências. Os T4 (29% WPC e 90°C) e T8 (17% e 96,2°C) apresentaram os valores mais altos de a, portanto, tiveram maior tendência à cor vermelha, o que pode indicar reação de Maillard (cor castanha). Resultado semelhante ocorreu entre os T01 (5% WPC e 60°C) e T2 (5% WPC e 90°C), T3 (29% WPC e 60°C) e T4 (29% e 90°C) onde a maior temperatura da 3ª zona do extrusor produziu maiores valores de a em todos.

De acordo com Singh, Gamlath e Wakeling (2007), a reação de Maillard é uma reação envolvendo um grupo de aminoácidos livres da proteína e grupos carbonila dos açúcares redutores que levam à produção de cor escura e sabor característico nos produtos alimentícios.

Para os valores de cromaticidade b, que varia da cor azul (valores negativos) à amarela (valores positivos), observam-se valores bastante aleatórios, em que não é possível afirmar uma tendência.

Tabela 13 Valores de L, a\* e b\* para os pellets de griz de milho e WPC

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	7	T8	T9	T10	T11
L*	48,3	57,9	51,7	37,9	37,9	45,6	39,6	44,7	48,5	43,8	45,3
a*	2,4	4,0	9,2	19,2	4,5	11,7	14,5	15,7	12,7	12,6	14,5
b*	17,3	23,4	27,2	19,9	14,2	21,6	20,8	21,7	25,1	22,4	22,7

T1 – 5% 60°C; T2 – 5% 90°C; T3 – 29% 60°C; T4 – 29% 90°C; T5 – 0,03% 75°C;  
T6 – 33,97% 75°C; T7 – 17% 53,8°C; T8 – 17% 96,2°C; T9, T10 e T11 – 17% 75°C  
\* médias de 4 observações

#### 4.2.4 Textura dos pellets expandidos

Entre os fatores de aceitabilidade sensorial, que são aparência, sabor e textura, esta última é a mais importante descritora para qualificar produtos crocantes. O teste de punctura é uma medida instrumental para a determinação física da textura de produtos extrusados expandidos, uma vez que simula o impacto de dentes na mastigação do alimento (BOUVIER; BONNEVILLE; GOULLIEUX, 1997). Sendo assim os seguintes critérios foram utilizados para se avaliar a crocância dos pellets: frequência de rupturas estruturais (Nsr), força específica das rupturas estruturais (Fsr), forças de compressão (F) e índice de crocância (Wc).

De acordo com a análise de variância (Tabela 3B, do Anexo B), apenas a variável dependente frequência de ruptura estrutural (Nsr) foi influenciada estatisticamente ( $p < 0,05$ ) pela variável independente temperatura, mas não houve um modelo matemático que se ajustasse bem aos dados. A média dos 11 tratamentos se encontra na Tabela 14.

Tabela 14 Frequência de rupturas estruturais (Nsr) dos pellets de griz de milho dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11) em função do teor de WPC e temperatura

Tratamentos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nsr (mm <sup>-1</sup> )*	2,83	3,3	4,6	3,2	2,6	3,7	5,7	3,5	2,9	3,9	3,6

T1 – 5% 60°C; T2 – 5% 90°C; T3 – 29% 60°C; T4 – 29% 90°C; T5 – 0,03% 75°C; T6 – 33,97% 75°C; T7 – 17% 53,8°C; T8 – 17% 96,2°C; T9, T10 e T11 – 17% 75°C  
\* média de 5 determinações

A frequência de rupturas é a razão entre o nº de picos e a espessura do pellet. Quanto maior a frequência de rupturas, maior foi o número de células rompidas do pellet. De acordo com Mercier, Linko e Harper (1998) produtos com grande expansão, geralmente, apresentam menor dureza, em razão de a estrutura interna apresentar células maiores com paredes mais finas. A substituição do griz de milho pelo WPC não alterou a frequência de rupturas, sugerindo que a estrutura interna da parede dos pellets não foi alterada por esta variável. As temperaturas da 3ª zona de extrusão acarretaram valores diversos da frequência de ruptura, não sendo possível apontar uma tendência.

Tanto a força específica de ruptura (Fsr) que representa a resistência mecânica relativa à cada ruptura (pico) que apresentou o valor médio de 2,85 mm<sup>-1</sup> e a força de compressão que apresentou o valor médio de 4,01N, que indica quão força é necessária para comprimir ou quebrar os extrusados, não se alteraram com a substituição de griz de milho pelo WPC e pelas variações de temperatura da 3ª zona do extrusor. Resultado semelhante foi obtido por Onwulata et al. (2010), onde pellets de milho puro e pellets com 12,5% de concentrado proteico a 80% (o mesmo utilizado neste trabalho) apresentaram valores de Hardness (máxima força requerida para quebrar as amostras) em texturômetro TA-XT2 estatisticamente iguais. Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a interação amido-proteína dos pellets não alterou a

estrutura das células dos pellets, resultando, também, em valores iguais do índice de crocância, que apresentou o valor médio de 1,08 N mm.

Chen et al. (1991), trabalhando com extrudados de milho, relataram que a crocância está relacionada com a densidade, a qual, por sua vez, correlaciona-se com a expansão, e que um produto menos denso tem maior crocância e é mais fácil de ser mastigado. No entanto, comparando os valores de densidade dos pellets expandidos (Figuras 7) observa-se um aumento da densidade dos mesmos à medida que aumenta o teor de WPC e de temperatura da última zona do extrusor, ou seja, menor expansão dos pellets ocorre nestas condições, resultados que não estão de acordo aos obtidos da textura, já que a crocância dos pellets não foi alterada.

#### **4.2.5 Índice de solubilidade em água (ISA) e Índice de absorção de água (IAA)**

Os grânulos de amido sofrem modificações durante o processo de extrusão que, em parte, podem ser refletidas por meio da capacidade de solubilização em água e de absorção de água apresentadas por esses (WHALEN et al., 1997). O índice de solubilidade em água é um parâmetro que reflete o grau de degradação do amido, ou seja, é a somatória dos efeitos do processo de extrusão sobre a gelatinização, dextrinização e consequente solubilização. Durante o processo de extrusão, os componentes do amido, amilose e amilopectina, podem ser degradados a moléculas de peso molecular mais baixo, algumas das quais são solúveis em água (CHOUDHURY; GAUTAM, 1998). Assim, quanto maior a degradação do amido, maior será o ISA, pois, moléculas de peso molecular mais baixo apresentam maior solubilidade.

Para a análise de ISA, apenas o teor de WPC influenciou estatisticamente ( $p < 0,05$ ), porém, não houve um modelo matemático que se ajustasse bem aos dados experimentais. Sua análise de variância se encontra na



Tabela 5B, do Anexo B. As médias dos valores de ISA se encontram na Tabela 15.

Tabela 15 Índice de solubilidade em água (ISA) dos pellets de griz de milho dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11).em função do teor de WPC e da temperatura da 3ª zona do extrusor

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
ISA	6,8	9,01	8,38	7,9	7,32	9,63	6,98	6,02	6,87	5,24	6,84
(%)*											

T1 – 5% 60°C; T2 – 5% 90°C; T3 – 29% 60°C; T4 – 29% 90°C; T5 – 0,03% 75°C; T6 – 33,97% 75°C; T7 – 17% 53,8°C; T8 – 17% 96,2°C; T9, T10 e T11 – 17% 75°C

\* Média de 3 determinações

A temperatura de extrusão não afetou os valores de ISA para os tratamentos em estudo, indicando que a gelatinização do amido ocorreu de forma parcial e menos severa, fato justificado pelas temperaturas mais brandas e curto tempo de extrusão. Apenas o fator proteína resultou em valores diversos de ISA para os pellets. As proteínas do soro, especialmente a  $\beta$ -lactoglobulina, podem ter sua conformação alterada mesmo a baixas temperaturas (60°C), causando lenta agregação e perda de solubilidade (KINSELLA; WHITEHEAD, 1989). No entanto, a natureza, extensão e taxa de desnaturação podem ser influenciadas por uma série de fatores como o pH, força iônica, concentração da proteína, tempo e temperatura de aquecimento (KILARA; SHARKASI, 1986). Os resultados obtidos do T5 (0,03% WPC) foram próximos ao do T4 (29% WPC), T9 (17% de WPC) e T11 (17% de WPC), indicando que a desnaturação e possível agregação das proteínas do soro não aumentaram os valores de ISA.

O IAA mede o volume ocupado pelo amido após o mesmo inchar-se em excesso de água (MASON; HOSENEY, 1986). Dessa forma, os máximos

valores do IAA coincidem com a completa gelatinização dos grânulos de amido. Porém, o IAA é o resultado, não só do amido gelatinizado, mas também dos componentes insolúveis. A degradação molecular do amido leva a maior solubilização, como antes relatado e há subsequente redução nos valores do IAA. Sendo assim, as condições que favorecem a gelatinização e desfavorecem a degradação contribuirão para altos valores do IAA (SILVA, 2004).

A variável IAA não foi, significativamente ( $p \geq 0,05$ ), influenciada pelo teor de WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor. Sua análise de variância se encontra na Tabela 5B, do Anexo B. O teor médio dos tratamentos foi de 5,75 g de gel/g matéria seca. Os resultados de IAA indicam que a variação das temperaturas utilizadas no processo não foram suficientes para aumentar a gelatinização, durante a extrusão, talvez pelo efeito diluidor do amido, já que o gritz foi substituído pelo WPC. A presença da proteína pode ter compensado a diminuição das moléculas de amido, ou seja, as proteínas do soro podem ter se ligado à água e formado gel, acarretando valores não significativos de IAA para todos os tratamentos. Resultados semelhantes foram encontrados por Onwulata et al. (2010), onde extrusados não-expandidos de milho puro e extrusados de milho com 12,5% de WPC (80% de proteína) obtiveram valores de IAA estatisticamente iguais ( $p \geq 0,05$ ).

#### **4.2.6 Viscosidade de pasta por RVA**

As medições de RVA (Rapid Visco Analyser) são particularmente úteis para caracterizar um processo de extrusão. Por meio de aquecimento controlado do aparelho RVA e sob agitação mecânica, o amido é gelatinizado e seu aumento de viscosidade é monitorado e avaliado. O resfriamento subsequente fornece uma indicação do ganho de viscosidade durante a gelificação. Os

parâmetros avaliados aqui serão o de viscosidade inicial a 25°C, viscosidade máxima a 95°C, viscosidade mínima a 95°C, “breakdown” e “setback”.

Os gráficos da viscosidade aparente de pasta obtidos por RVA (Rapid Visco Analyser) estão representados na Figura 8 e 9, em função do teor de WPC (%) e da temperatura da 3ª zona do extrusor (°C).

Por meio das curvas dos gráficos das Figuras 8 e 9, pode-se observar que o T06 (34% WPC e 75°C) possui maior viscosidade a frio do que os demais tratamentos. Esse comportamento pode estar ligado à formação de gel pelas proteínas já que este tratamento é o que possui o maior teor de WPC. Durante o processo de extrusão, o calor e cisalhamento aplicados ao sistema amido-proteína, provocam uma mudança na conformação das proteínas globulares, e a associação dessas moléculas de proteínas desnaturadas formam uma rede tridimensional. Em decorrência das condições limitadas de umidade, o gel só é formado nas condições de excesso de água (condições do aparelho RVA) aumentando a viscosidade do meio aplicado. Os valores de viscosidades máximas, durante o ciclo de aquecimento dos pellets, variaram de 458 cP (T1) a 1258,5 cP (T6), onde os T3 (29% de WPC e 60°C), T4 (29% WPI e 90°C) e T6 (34% WPC e 75°C) apresentaram maiores valores desta viscosidade. Novo aquecimento das proteínas do soro, durante o ciclo de aquecimento e agitação do aparelho RVA, provocou nova mudança de conformação das mesmas com consequente associação destas proteínas e formação de gel.

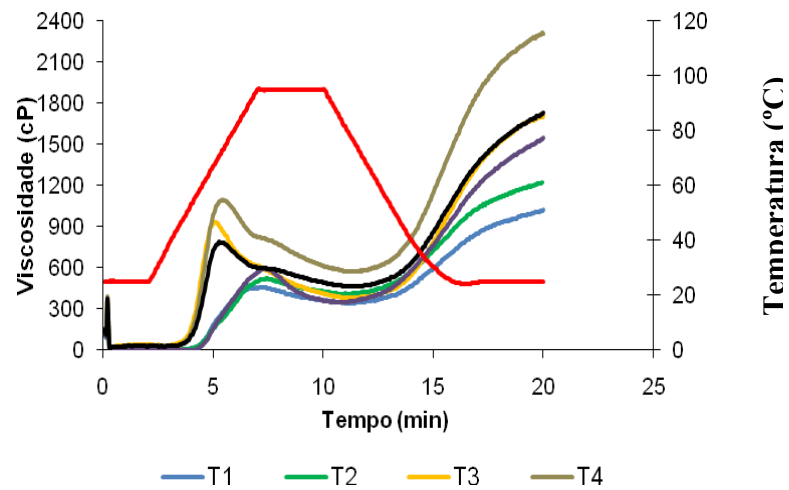


Figura 8 Representação gráfica da viscosidade aparente de pasta dos T1, T2, T3, T4, T5 e T9 dos pellets de milho e WPC

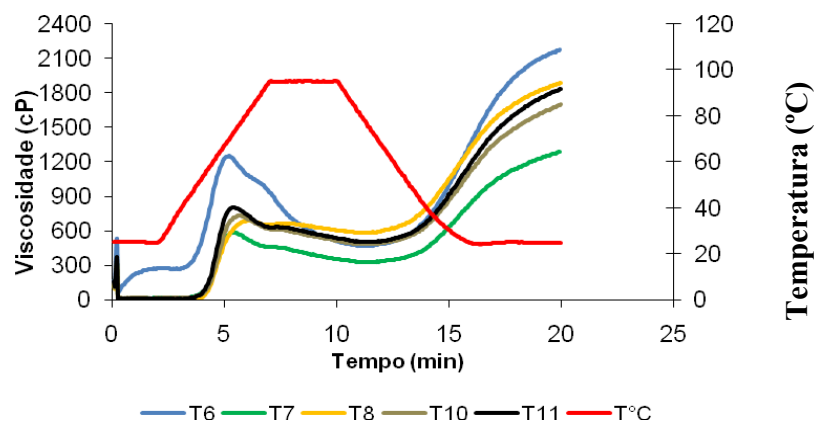


Figura 9 Representação gráfica da viscosidade aparente de pasta dos T6, T7, T8, T10 e T11 dos pellets de griz de milho e WPC

Observam-se maiores valores de viscosidade final para os T4 e T6, em consequência da gelificação das proteínas presentes nestes tratamentos. Os T1 (5% WPC e 60°C), T2 (5% WPC e 90°C) e T5 (0,03% e 75°C) apresentaram comportamento semelhante na viscosidade a frio, viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento e viscosidades finais, o que sugere que a presença das proteínas, em pequenas quantidades, não alteram as viscosidades de pasta.

A viscosidade a frio (25°C) ou viscosidade inicial indica a capacidade do alimento extrusado em absorver água à temperatura ambiente e formar pasta, gel ou líquido viscoso como resultado da gelatinização do amido e da extensão da quebra de moléculas durante o processo de extrusão (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002; EL-DASH, GONZALEZ; CIOL, 1984).

Para a viscosidade a frio, as variáveis WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 6B do Anexo B. Seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8115

A Figura 10 mostra a influência positiva do teor de proteína, onde o aumento desta gradualmente aumentou a viscosidade a frio dos pellets. Mesmo a temperatura não sendo significativa, um pequeno aumento da mesma aumenta a viscosidade a frio, em virtude da interação binária (proteína x temperatura) ter tido efeito negativo. O aumento da viscosidade a frio com o aumento do teor de WPC em temperaturas mais baixas da 3ª zona do extrusor pode ter ocorrido em decorrência da formação de géis pelas proteínas do soro. De acordo com Fox e Mcsweeney (2003), o aquecimento das proteínas do soro podem levar à mudança na conformação das mesmas, ocasionando a formação de interações sulfidril-dissulfídicas e hidrofóbicas, que formam agregados e, posteriormente, formação de gel. Porém, em temperaturas acima de 80°C da 3ª zona do extrusor em altas concentrações de WPC ocasionaram diminuição da viscosidade a frio. As proteínas do soro apresentam forte tendência de se ligarem à água, limitando

a disponibilidade da mesma para a gelatinização do amido do griz de milho durante o processo de extrusão. Porém, em temperaturas mais elevadas, as proteínas perdem a sua capacidade de se ligarem à água (WASON; JOHNSON, 1965), disponibilizando a mesma para a gelatinização do amido. A queda da viscosidade a frio é em decorrência da menor formação de gel do amido quando comparado a formação de gel das proteínas do soro.

$$\text{Viscosidade à frio} = 97,96x_1 + 64,85x_1^2 - 83,12x_1x_2$$

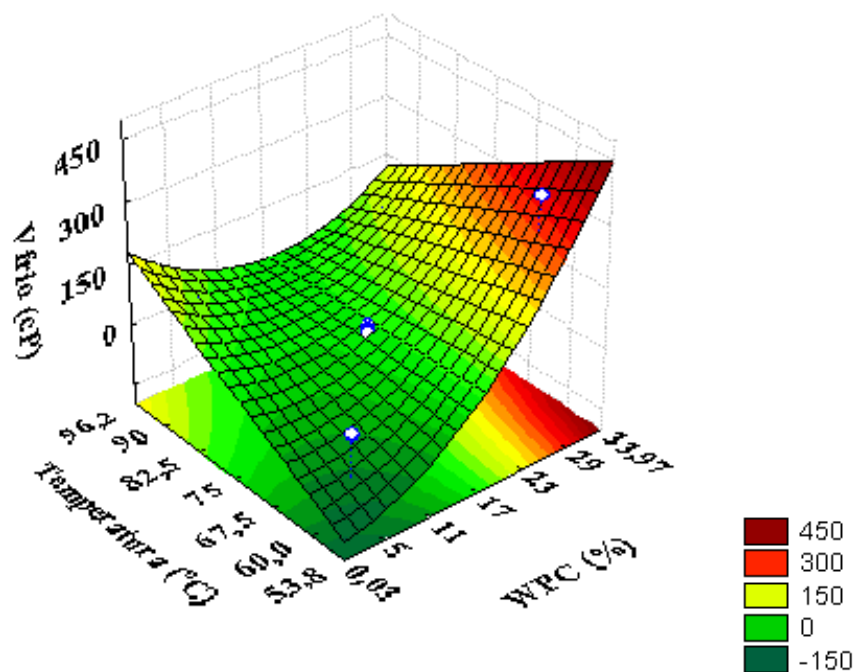


Figura 10 Efeito da variável quantitativa WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor na viscosidade a frio dos pellets de griz de milho

O aumento da viscosidade a frio, à medida que se aumenta a temperatura da 3ª zona do extrusor na presença de baixas concentrações de WPC, esta ligado

à gelatinização do amido do griz de milho durante o processo de extrusão. De acordo com Ascheri, Ascheri e Carvalho (2006), a viscosidade a frio (25°C), depende, principalmente, do grau de gelatinização dos grânulos de amido e da magnitude da sua quebra molecular durante o processo de extrusão.

A viscosidade de pasta, durante o ciclo de aquecimento, é um parâmetro que mede a resistência do grânulo de amido ao colapso resultante da ação da temperatura e do atrito mecânico no analisador de viscosidade. Tratando-se da determinação da viscosidade de pasta de materiais amiláceos crus, durante o ciclo de aquecimento até 95°C, ocorre o total intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, atingindo nesta etapa o pico da viscosidade máxima a 95°C (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). Para a viscosidade máxima, durante o ciclo de aquecimento, as variáveis independentes WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor influenciaram significativas ( $p < 0,05$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 6B do Anexo B e seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentou alto valor (0,98384).

Por meio da Figura 11 observa-se uma maior influência do teor de proteína na viscosidade e, à medida que se aumentam os níveis de proteína, há um aumento gradativo da viscosidade. Isto pode ser justificado pela desnaturação parcial da proteína. Segundo Walstra (1999), quando as proteínas do soro são desnaturadas, elas se agregam e formam gel, como discutido anteriormente. Apesar do efeito diluidor da substituição do milho pela proteína, que faria a viscosidade diminuir, em virtude do menor teor de amido, causando, conseqüentemente, menor gelatinização, o efeito gelificante da proteína parece influenciar mais na viscosidade de uma forma geral. Onwulata et al. (2010) obtiveram picos de viscosidade máxima a 95°C mais baixos significativamente ( $p < 0,05$ ) em pellets de milho com 12,5% de WPC80 do que em pellets de milho puro, ambos extrusados com 21,2% de umidade. Porém, eles obtiveram resultados parecidos ao deste trabalho, cujos pellets de cevada com 12,5%

WPC80 e 34,6% de umidade de extrusão apresentaram maior pico de viscosidade a 95°C quando comparado a pellets puros de cevada, (extrusados a 37,4% de umidade). A diminuição da umidade disponível para a gelatinização e desnaturação podem contribuir para o aumento ou diminuição da porcentagem de gelatinização. Os resultados obtidos neste trabalho e desses autores mostram que o acréscimo das proteínas do soro na extrusão terão efeitos diferentes em função da fonte de carboidrato, das condições de processo e do tipo de produto desejado.

$$\text{Viscosidade máxima} = 773,50 + 246,59x_1 + 66,94x_1^2 + 45,67x_2 - 74,69x_2^2$$

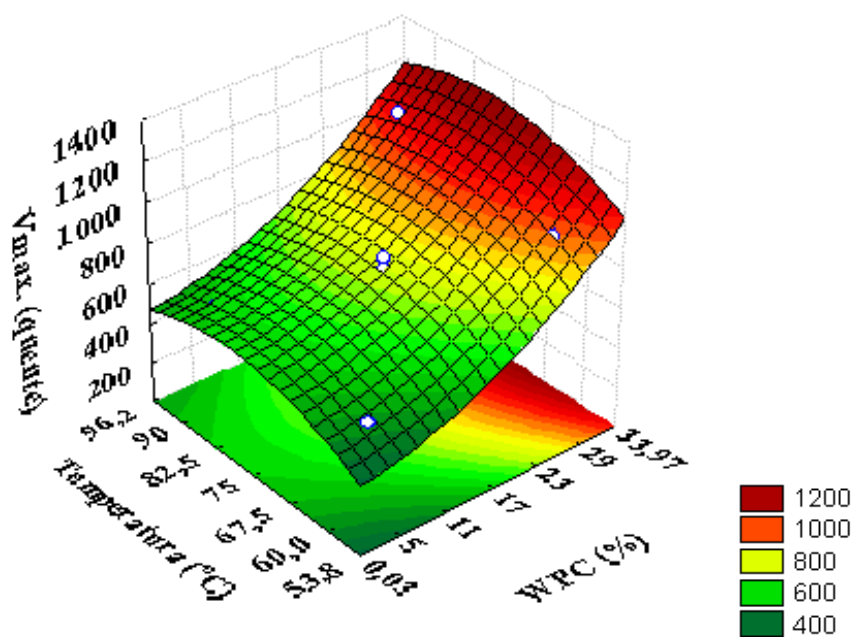


Figura 11 Efeito da variável quantitativa WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor na viscosidade máxima dos pellets de grits de milho



A viscosidade mínima a 95°C ocorre, quando a ruptura dos grânulos, em decorrência da agitação do meio (aparelho RVA) atinge o seu máximo, e segundo Ryu e Walker (1995), ela pode ser vista como uma medida do grau de desintegração dos grânulos de amido ou outras substâncias. Para a variável viscosidade mínima a 95°C, tanto as variáveis proteína e viscosidade influenciaram significativamente, ( $p < 0,05$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 7B do Anexo B. Seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,95377.

Ao observar-se a Figura 12, vê-se que maiores valores de proteína, combinado com maiores temperaturas, resultaram em valores máximos de viscosidade mínima. Maiores teores de proteína resultaram em maior desnaturação da mesma e, conseqüentemente, maiores efeitos de degradação da proteína. As temperaturas mais altas favorecem maior desnaturamento de proteínas e maior gelatinização do amido, causando maiores valores de viscosidade mínima a 95°C.

$$\text{Viscosidade mínima (95°C)} = 467,44 + 46,80x_1 - 33,54x_1^2 + 77,34x_2 + 31,00x_1x_2$$

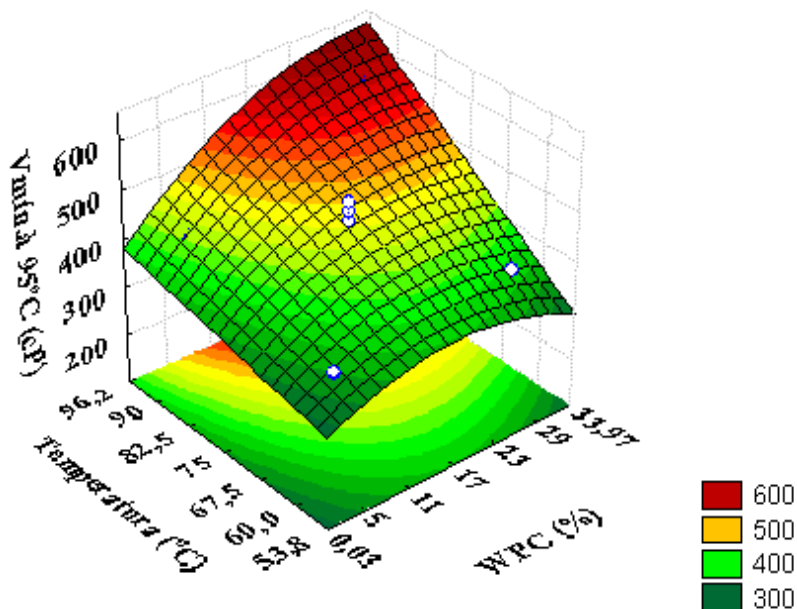


Figura 12 Efeito da variável quantitativa WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor nos valores de viscosidade mínima a 95°C dos pellets de grãos de milho

A viscosidade de quebra ou “breakdown” representa a diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima. Além de estar relacionado com a resposta do amido, a agitação mecânica do RVA e aquecimento contínuo, causando ruptura e resultando no decréscimo da viscosidade, ele relaciona-se com a morfologia do amido, conteúdo de amilose e amilopectina e amido danificado. uma diminuição da viscosidade (MISHRA; RAI, 2006).

As variáveis WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ) nos valores de breakdown. Sua análise de variância se encontra na Tabela 7B do Anexo B, e seu coeficiente de determinação foi de

0,96084. A Figura 13 ilustra as curvas de superfície de resposta para o Breakdown

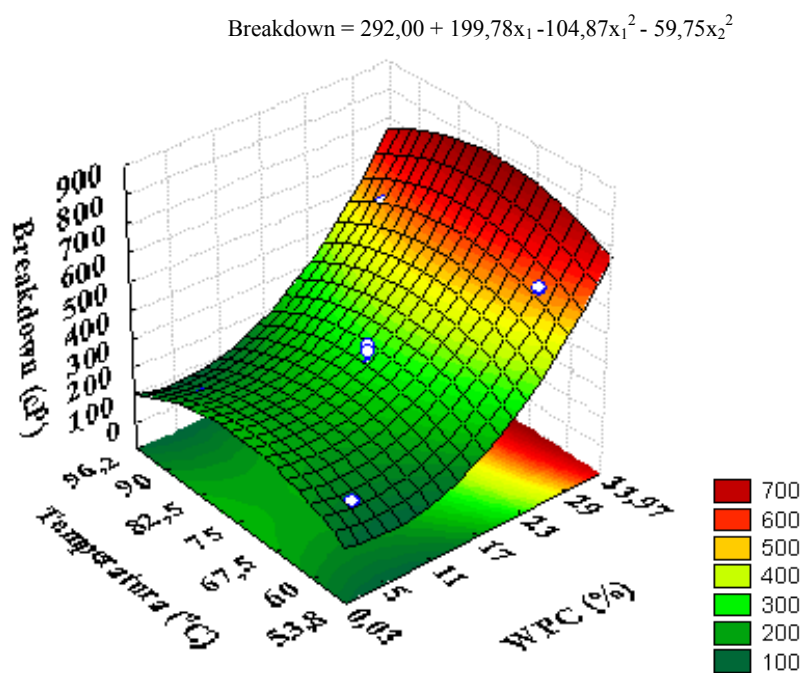


Figura 13 Efeito da variável quantitativa WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor nos valores de breakdown dos pellets de grits de milho

De acordo com a Figura 13, observa-se que maiores teores de proteína causaram aumento nos valores de breakdown e a temperatura pouco influenciou nesta variável dependente. Os resultados sugerem que o efeito da proteína parcialmente desnaturada e insolúvel, prevaleceu sobre o rompimento dos grânulos de amido. Onwulata et al. (2010) obtiveram aumentos nos valores de breakdown em extrusados não-expandidos de cevada com 12,5% de WPC80, quando comparado à sua amostra padrão (somente cevada).

O setback ou tendência à retrogradação mede a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade após o pico. A retrogradação do amido ocorre por efeito da recristalização das moléculas de amilose e amilopectina, em virtude do agrupamento das partes lineares das moléculas do amido, por meio da formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de novas ligações de hidrogênio, resultando na formação de precipitados e ou géis (GUTKOSKI, 2000). O efeito dessa retrogradação implica diretamente no aumento da viscosidade final.

Para os valores de setback, apenas a variável WPC linear influenciou, significativamente ( $p < 0,05$ ), porém, foi apresentado o modelo de equação, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a superfície de resposta do modelo completo, pois, o modelo ajustado apresentou um coeficiente de determinação abaixo de 70% (61,82%). Sua análise de variância se encontra na Tabela 8B do Anexo B. O coeficiente de determinação do modelo completo foi de 0,86416.

De acordo com a Figura 14, observa-se que os maiores teores de proteína elevaram os valores do setback, fato justificado pela formação de géis da retrogradação do amido e mais ainda pela mudança na conformação das proteínas com conseqüente agregação, formação de géis e conseqüente endurecimento dos géis durante o resfriamento De acordo com Aguilera e Rojas (1997) o endurecimento de géis se dá pela formação de múltiplas ligações de hidrogênio entre as proteínas.

$$\text{Setback} = 1272,50 + 285,57x_1 + 50,09x_1^2 + 129,436x_2 - 107,53x_2^2 + 68,75x_1x_2$$

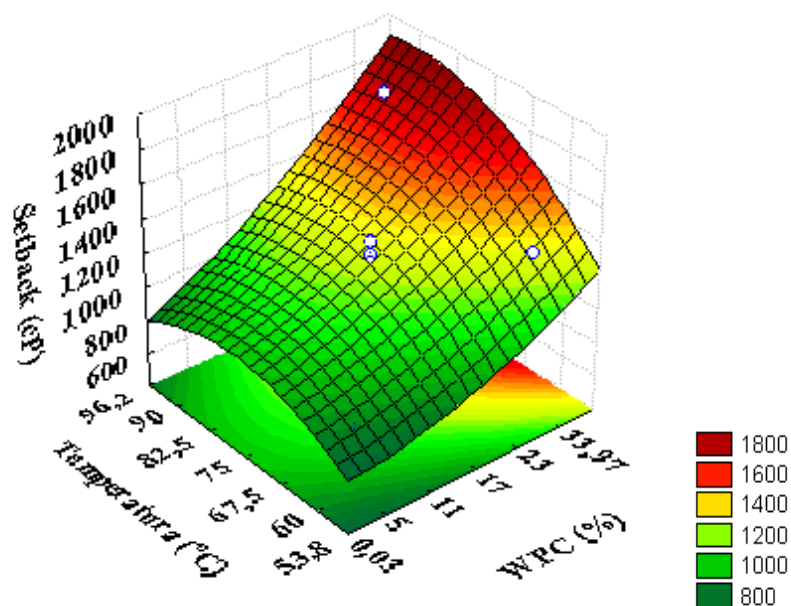


Figura 14 Efeito da variável quantitativa WPC (%) e temperatura (°C) nos valores de setback (cP) dos pellets de grits de milho

#### 4.2.7 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A calorimetria diferencial de varredura é uma ferramenta muito útil na caracterização da gelatinização de diferentes amidos em sistemas de alimentos, bem como para proteínas e lipídeos. Em estudos com alimentos, esta técnica tem sido usada para: interações água-amido (TANANUWONG; REID, 2004), complexos amido-lipídeos (TUFVESSON; WAHLGREN; ELIASSON, 2003), complexo amido-alimento e interação proteína-hidrocolóides (JENG-YUNE; YEH, 2003; YOSHIMURA, 1999).

A conversão do amido pode ser definida como uma série contínua de eventos que inclui a perda de cristalinidade que é seguida pela perda da

integridade do grânulo e despolimerização de polissacarídeos (FARHAT et al., 1999; MITCHELL et al., 1997).

A conversão do amido (%) não foi influenciada significativamente ( $P \geq 0,05$ ) pelas variáveis WPC e temperatura da 3ª zona do extrusor e sua análise de variância se encontra na Tabela 8B do Anexo B. A média do grau de conversão foi de 76,67 %. Apesar do grau de conversão do amido não ter sido significativo, quando se comparam os valores de 76,19 % do T5 (0,03% de WPC e 75°C) e 29,17% para o T6 (34% de WPC e 75°C), observa-se que o T5 teve uma maior perda da integridade do grânulo de amido, em virtude do evento da gelatinização ocorrido. O baixo valor do T6 pode ter ocorrido em decorrência do efeito da competição entre amido e proteína pela água (WATSON; JOHNSON, 1965), já que as proteínas possuem a tendência de se ligarem fortemente à água, inibindo a hidratação do grânulo de amido limitando a gelatinização do mesmo durante o processo de extrusão. As interações amido-proteína, também, podem ter influenciado neste resultado. Os demais resultados apresentaram médias próximas entre si.

As temperaturas de gelatinização iniciais ( $T_0$ ) e de pico ( $T_p$ ) e a entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ) dos pellets estão na Tabela 16. Quando se comparam a  $T_0$  do T5 (0,03% de WPC) com a  $T_0$  do T6 de 73,26°C (33,97% de WPC) observa-se um grande aumento no valor da mesma, com maiores teores de WPC. Os resultados indicam que as fortes ligações que ocorrem entre amido e proteína podem ter limitado a absorção de água pelo amido e, conseqüentemente, a gelatinização e/ou desnaturação das proteínas do soro ocorreu em somente em temperaturas mais elevadas. Para os demais tratamentos (com teores de proteína variando de 5% a 29%), os resultados foram próximos entre si.

Tabela 16 Temperatura de gelatinização iniciais (T<sub>0</sub>), de pico (T<sub>p</sub>) e entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ) dos pellets de gritz de milho e WPC dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11)

	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	$\Delta H$ (J/g)
T1 (5% WPC 60°C)	52,14	59,51	0,9607
T2 (5% WPC 90°C)	52,33	59,84	0,814
T3 (29% WPC 60°C)	51,85	61,05	0,7768
T4 (29% WPC 90°C)	54,03	59,88	0,9425
T5 (0,03% WPC 75°C)	50,76	60	1,375
T6 (33,97% WPC 75°C)	73,26	77,88	4,091
T7 (17% WPC 53,8°C)	53,16	61,1	0,6879
T8 (17% WPC 96,2°C)	53,01	58,15	2,383
T9 (17% WPC 75°C)	53,82	58,15	0,9224
T10 (17% WPC 75°C)	52,47	59,94	0,919
T11 (17% WPC 75°C)	54,4	60,25	0,9489

Para os valores de  $\Delta H$  (J/g), observa-se que, à exceção dos T05, T06 e T08, os demais apresentaram valores próximos. O valor de entalpia, obtido do gritz de milho puro, foi de 5,77 J/g (Tabela 13) e maior quando comparado ao T5 extrusado não-expandido de milho puro (1,375 J/g). Esse resultado pode ser justificado pelos processos de gelatinização e retrogradação que ocorrem em produtos extrusados. A gelatinização parcial do amido destruiu parte da integridade cristalina das moléculas de amido e houve uma diminuição dos grânulos nativos presentes. Quando elas são novamente aquecidas, uma menor energia é gasta para gelatinizar a menor quantidade de grânulos nativos ainda presentes. E aquelas moléculas de amido degradadas, durante a gelatinização, tendem a se reassociar, durante a retrogradação, formando uma estrutura mais

fraca do que aquela que existia no amido nativo. Assim, a energia ( $\Delta H$ ) para derreter o cristalito reestruturado em amido retrogradado é menor. Grandes diferenças entre  $T_0$  e  $T_p$  dos tratamentos podem indicar variados graus de gelatinização entre os grânulos de amido.

#### 4.2.8 Difratorômetro de Raio X

Os grânulos de amido possuem regiões de ordem cristalina suficiente para difratar raios-X. Durante o processo de extrusão, as energias mecânica e térmica específicas geradas levam a diversas mudanças na estrutura do grânulo. O principal efeito deste tratamento termomecânico é a ruptura da estrutura granular do amido. A destruição completa ou parcial da estrutura cristalina do amido pode ser demonstrada por meio de difração de raios X (MERCIER et al., 1980). A Figura 10 (a) ilustra o perfil de difração de raio-x de farinha de milho não-processada (amido nativo), em que temos os picos característicos de cristalinidade do tipo A, há aproximadamente  $15^\circ$ ,  $17^\circ$  e a  $23^\circ$  ( $2\Theta$ ), típico de cereais nativos (BECKER; HILL; MITCHELL, 2001). Na Figura 10 (b) tem-se um perfil de difração de raio-x do pellet de griz de milho com 0,03% de concentrado proteico de soro de leite (WPC), em que observamos uma redução da cristalinidade dos grânulos de amido, em consequência do processo termomecânica da extrusão, originando um perfil característico da cristalinidade do tipo V, com pico a  $19,8^\circ$  ( $2\Theta$ ), evidenciando a presença de complexos amilose-lipídeos.



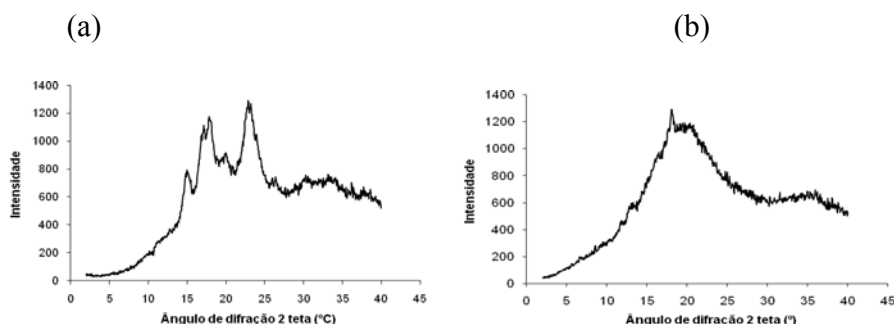


Figura 13 Perfis de difração de raio-x de farinha de milho (a) e de pellet de griz milho (b)

Durante o processo de extrusão, ocorrem mudanças estruturais desde a escala molecular até a macroscópica. Na menor escala, a molecular, observa-se degradação macromolecular dos grânulos de amido (COLONNA; MERCIER, 1983), bem como a formação de complexo amilose-lipídeo (MERCIER et al., 1979).

Na escala supramolecular, a ordem semi-cristalina, também, é modificada (COLONNA et al., 1983). A Fusão dos cristalitos nativos pode ocorrer dentro do extrusor, o que resulta na redistribuição da água pelo restante do grânulo. Os grânulos perdem a propriedade de birrefringência, já que a orientação dos cristalitos é perdida com a fusão e ocorre o inchamento dos grânulos (BLANSHARD, 1987). Ao sair da matriz do extrusor, a massa fundida esfria e há, então, possibilidade de ocorrer recristalização da amilose, da amilopectina e dos complexos lipídicos com a amilose. Vale ressaltar que as condições de extrusão do pellet foram de mínima degradação molecular do amido, já que foi processado em alta umidade, a temperaturas mais amenas e baixo cisalhamento. Porém, condições severas, como altas temperaturas podem levar à perda da estrutura do grânulo, o que pode ser observado por meio de

análises de difração de raio-x, cujas moléculas degradadas não têm a capacidade de difratar (LAI; SARKANEN, 1969).

#### **4.2.9 Composição centesimal e valor calórico**

A nutrição humana se baseia na composição dos alimentos e na função desses compostos no organismo. Os compostos químicos devem ser fornecidos pela alimentação, de tal forma que satisfaçam às exigências metabólicas do indivíduo, sem comprometerem a sua saúde. Sendo assim o conhecimento da composição química é importante para o estabelecimento de dietas balanceadas. Tal conhecimento surge do desenvolvimento de métodos adequados, como a composição centesimal, que permitam a análise da qualidade dos alimentos pela determinação dos diferentes alimentos, naturais ou adicionados, que os compõem (VILAS BOAS, 2005).

A composição centesimal dos pellets de milho e WPC se encontram na Tabela 17. Os tratamentos escolhidos foram aqueles que, também, foram submetidos à avaliação sensorial e são os: 02 (5% WPC e 90°C), 05 (0,03% WPC e 75°C), 08 (17%, 96,2°C) e 12 (17%, 75°C)

A fritura em óleo comestível ou gordura acima do ponto de ebulição da água permitem que ocorram altas taxas de transferência de calor, cozimento rápido e desenvolvimento de sabor, cor e textura (QUAYSON; AYERNOR, 2007). Os resultados de umidade dos pellets variaram de 2,85% à 4,11%. Onwulata et al. (2010) obteve valores de 11,5% de umidade em pellets de milho com 12,5% de WPC80% fritos em óleo vegetal à 190°C, e obteve valores mais baixos (2,5%) quando os mesmos pellets foram assados a 205°C em forno rotativo. A variação da umidade, contida nos pellets antes da fritura, o método e equipamentos utilizados para a cocção, o tipo de produto e a própria variação climática pode ocasionar variações nos teores de umidade dos mesmos.

Tabela 17 Composição centesimal média em g por 100g<sup>-1</sup> e valor calórico em Kcal dos pellets de gritz de milho e concentrado proteico de soro (WPC) na matéria integral

Composição em g 100 <sup>-1</sup> g	T2	T5	T8	T12
Umidade	4,11	3,11	3,11	3,25
Extrato etéreo	8,51	29,77	23,13	19,77
Proteína	10,07	5,15	8,25	7,79
Cinzas	0,36	0,19	0,32	0,31
Fibra alimentar	1,83	2,75	nd	4,42
Carboidrato	75,12	59,02	nd	64,45
Valor Calórico	417,37	524,64	nd	466,91

nd – não determinado

Os resultados obtidos para o extrato etéreo apresentaram grande variação e que pode ser atribuída à valores diferentes de absorção do óleo de fritura. Alimentos fritos sofrem alterações físico-químicas, causadas pela transferência de calor, afetando a estrutura, textura e porosidade induzindo ao fenômeno do encolhimento. Taiwo (2007) relata que a estrutura crocante de batatas fritas é o resultado de alterações em nível celular e subcelular da região da camada externa. O dano causado às células, em decorrência da formação de grandes cristais de gelo, durante o congelamento das fitas de pellets, pode ter sido o principal fator de variada absorção de óleo dos pellets. As proteínas são os maiores constituintes de toda a célula viva e cada uma delas, de acordo com sua estrutura molecular, tem uma função biológica associada às atividades vitais (CECCHI, 2003). Nos alimentos, além da função nutricional, as proteínas têm propriedades sensoriais e de textura. Ao observar-se os valores de proteínas,

nota-se um aumento nos valores desta nos tratamentos, comprovando que formulações de pellets com WPC têm o seu valor proteico aumentado. As proteínas são macromoléculas complexas que podem constituir 50% ou mais do peso seco das células vivas. No organismo humano elas funcionam como biocatalisadores (enzimas e hormônios), controlando processos como crescimento, digestão, absorção, transporte e metabolismo, sendo importantes, também, na manutenção da pressão osmótica do sangue e outros fluidos e na formação de anticorpos para a defesa imunológica (VILAS BOAS, 2008).

Os teores de cinzas dos tratamentos com WPC tiveram um pequeno aumento quando comparado ao pellet só de milho. Esses pequenos aumentos de cinzas podem ser creditados ao acréscimo de WPI nos pellets, pois, a composição centesimal das matérias-primas forneceu 0,59 g 100g<sup>-1</sup> de cinzas para o griz de milho e 2,50 g 100g<sup>-1</sup> para o WPC.

De acordo com a American Association of Cereal Chemists (2001), a fibra dietética é a parte comestível de plantas ou carboidratos análogos que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado e sofrem completa ou parcial fermentação no intestino grosso. Fibra dietética inclui polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e associadas substâncias vegetais. Os teores de fibras dos pellets variaram de 1,83 à 4,42 g 100g<sup>-1</sup>. Modificações sofridas, durante o processo de extrusão, podem aumentar os valores de fibra em produtos extrusados de milho. A gelatinização do amido, ocorrida durante a extrusão, e a retrogradação, após o resfriamento, provavelmente, contribuem para a formação de amido resistente, que levam ao aumento da fibra dietética insolúvel (STOJCESKA, 2009). Além disso, modificações sofridas pela proteína na extrusão podem levar a mesma a ser medida como fibra (CAMIRE, 2000).

#### 4.2.10 Aminoácidos

Os aminoácidos devem estar presentes na dieta para satisfazerem às necessidades do organismo que, entre outras funções, terão três destinos principais: anabolismo (síntese de proteínas e polipeptídeos), catabolismo (degradação e produção de energia) e síntese de compostos de baixo peso molecular. Por essas vias, os aminoácidos servirão na construção e manutenção dos tecidos, formação de enzimas, hormônios, anticorpos no fornecimento de energia e na regulação de processos metabólicos (VILAS BOAS, 2008).

A Tabela 18 mostra os aminoácidos dos pellets de griz de milho e WPC em g 100g<sup>-1</sup> de amostra e em g 100<sup>-1</sup> de proteína em base seca

Observam-se maiores teores de quase todos os aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> de amostra dos tratamentos 02, 08 e 12 quando comparados ao tratamento padrão. Isto pode ser justificado pela presença de WPC nestes tratamentos, que incrementou os valores de proteína dos mesmos. Quando se comparam os tratamentos 08 e 12, observam-se valores próximos do teor aminoacídico, já que ambos possuem o mesmo teor de WPC (17%). Esse resultado, também, sugere que a maior temperatura da 3ª zona de extrusão do tratamento 08 (96,2°C) não afetou os resultados aqui comparados.

Tabela 18 Aminoácidos presentes nos tratamentos dos pellets de milho e WPC

Tratamentos	02		05		08		12		FAO*
Aminoácidos	1	2	1	2	1	2	1	2	2
Histidina	0,14	1,34	0,09	1,75	0,12	1,47	0,12	1,554	1,9
Isoleucina	0,20	1,90	0,10	2,01	0,19	2,27	0,18	2,35	2,8
Leucina	0,62	5,98	0,43	8,20	0,61	7,19	0,59	7,42	6,6
Lisina	0,13	1,25	0,38	0,71	0,11	1,38	0,12	1,50	5,8
Fenilalanina e tirosina	0,48	4,63	0,33	6,05	0,47	5,58	0,46	5,81	6,3
Valina	0,25	2,42	0,15	2,86	0,25	2,99	0,24	3,11	3,5
Treonina	0,23	2,17	0,10	1,88	0,21	2,41	0,21	2,56	3,4
Metionina e cisteína	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,5
Triptofano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,1
Asparagina	0,34	3,29	0,17	3,32	0,34	4,06	0,33	4,11	
Serina	0,26	2,47	0,16	2,93	0,24	2,86	0,24	3,00	---
Glutamina	0,91	8,67	0,63	11,7	0,91	10,6	0,88	10,88	----
Glicina	0,14	1,30	0,10	1,82	0,13	1,56	0,13	1,61	----
Histidina	0,14	1,34	0,09	1,76	0,12	1,47	0,12	1,55	----
Arginina	0,17	1,65	0,12	2,21	0,15	1,83	0,16	2,01	----
Alanina	0,32	3,12	0,24	4,56	0,32	3,80	0,32	3,96	----
Prolina	0,48	4,55	0,34	6,51	0,46	5,40	0,46	5,67	----
Aminoácidos totais	4,71	44,8	3,12	58,7	4,56	53,5	4,47	55,6	----

\* FAO (1990) – recomendado para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos

1 – aminoácidos em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de amostra

2 – aminoácidos em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de proteína

nd – não foi determinado

Para o aminoácido histidina, os valores obtidos pelos tratamentos aqui avaliados, atingiram valores de 70% a 92% do padrão recomendado pela FAO

para crianças de 2 a 5 anos. O mesmo bom resultado foi obtido para a isoleucina, onde os tratamentos superaram em mais de 70% o padrão estabelecido. Foram obtidos altos valores de leucina, para todos os tratamentos, superando os valores recomendados pela FAO. Todos os tratamentos com WPC incrementaram os valores de lisina do griz de milho, aminoácido limitante dos cereais, embora todos tenham ficado abaixo do padrão recomendado. Para os aminoácidos aromáticos (fenilalanina e tirosina) e valina, todos os tratamentos mostraram bons resultados, atingindo mais de 70% do recomendado. Para a treonina, os tratamentos com WPC superaram o tratamento padrão, mostrando que houve complementação deste aminoácido pelas proteínas do soro.

#### **4.3 Caracterização dos Pellets elaborados com Isolado proteico de soro de leite (WPI)**

As análises de densidade absoluta, densidade, cor, textura, ISA, IAA, viscosidade de pasta, calorimetria diferencial de varredura, composição centesimal e aminoácidos dos pellets com WPI serão descritos a seguir.

##### **4.3.1 Densidade absoluta, densidade dos pellets não-expandidos e expandidos**

A densidade e volume são características físicas de materiais sólidos que podem ser determinadas por uma variedade de técnicas (WEBB, 2001). Os pellets, mesmo não expandidos, podem apresentar irregularidades na sua superfície, pequenas fraturas e poros, tornando a medição de seu volume mais difícil e imprecisa. A técnica do picnômetro a gás, permite que se determine o volume verdadeiro de um sólido, mesmo que poroso, por variação da pressão de gás numa câmara de volume conhecido (WEBB; ORR, 1997). Normalmente utiliza-se hélio, porque este gás, além de inerte, penetra facilmente nos poros

acessíveis da amostra, em decorrência do pequeno tamanho dos seus átomos, permitindo, assim, determinar o volume do sólido com mais rigor.

A análise de variância, para a densidade absoluta dos pellets não-expandidos, mostrou a influência significativa ( $p < 0,05$ ) apenas da variável WPC linear. Porém, ao se ajustar o modelo eliminando as variáveis não significativas, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi abaixo de 0,70. Por isso foram utilizados os resultados do modelo completo (Tabela 09B, do Anexo B), onde o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,86169.

O amido, ao ser extrusado, sofre uma desordenação molecular e perda da cristalinidade, sendo, primeiramente, convertido numa pasta viscosa dentro do cilindro por causa da combinação de água, calor e cisalhamento (CARVALHO et al, 2010). Esse fenômeno, conhecido como gelatinização, é responsável pela expansão dos extrusados. As fitas de pellets, ao saírem do extrusor, apresentam pouca expansão e alta densidade, pois, sofreram apenas uma gelatinização parcial. O gráfico tridimensional de superfície de resposta (Figura 15) representa o efeito das variáveis WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor na densidade absoluta. Pode-se observar que a interação de maior teor de proteína (33,97%) e temperaturas entre 90° e 96,2°C produziram menores densidades absolutas dos pellets. As proteínas do soro têm forte tendência a se ligar à água e, em sistemas onde o teor de umidade é limitado, a presença de proteínas inibe a gelatinização do amido. Porém, em temperaturas mais altas, as proteínas se desnaturam e perdem a sua capacidade de se ligar à água, disponibilizando a mesma para a gelatinização do amido. A maior gelatinização provocou menores densidades dos pellets em alta temperatura, na presença de altos teores de WPI. Resultados semelhantes foram obtidos por Bechtel (1959), em pães, que possuem quantidade de água limitada. Ele afirmou que as proteínas na massa do pão são altamente hidratadas e o amido absorve pouca água. Porém, com o aumento da temperatura, durante o assamento, as proteínas desnaturam e



perdem sua capacidade de ligar a água, e esta última, originalmente destinada às proteínas, torna-se disponível para a gelatinização do amido. Ainda, de acordo com a Figura 14, observa-se, também, que o maior pico de densidade ocorre nos valores de temperatura de 75°C a 96,2°C e menores teores de WPI. Este resultado sugere que a perda de água parcial ocasionada pelas temperaturas maiores aumentou a densidade da massa dos pellets ao sair do extrusor. A densidade dos pellets foi praticamente igual nos variados teores de proteína a baixas temperaturas, já que nestas condições a gelatinização do amido foi limitada em virtude da forte ligação das proteínas à água disponível do meio.

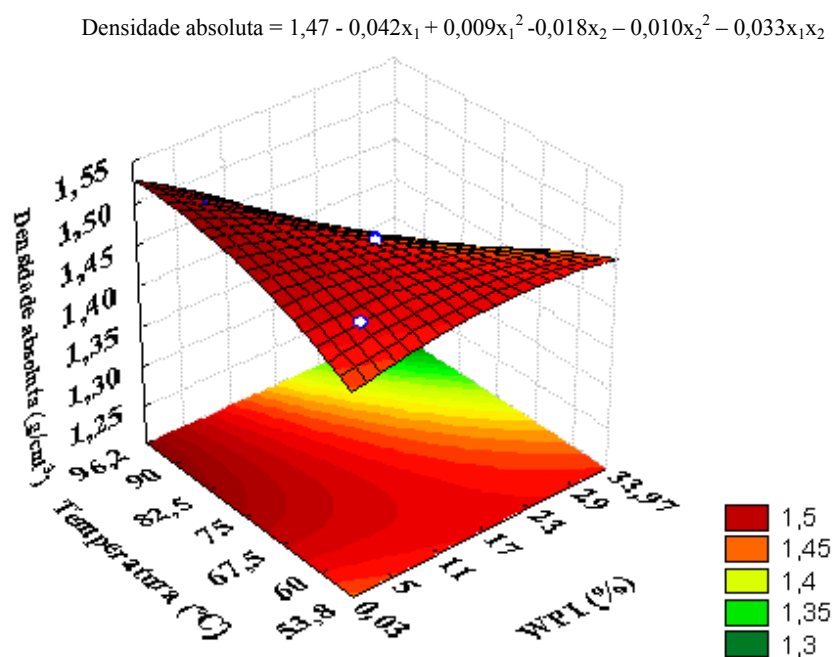


Figura 15 Efeito da variável quantitativa WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor nos valores de densidade absoluta ( $\text{g/cm}^3$ ) dos pellets de grits de milho

A densidade dos pellets não-expandidos foi influenciada significativamente a 5% de probabilidade pela temperatura linear. Sua análise de variância se encontra na Tabela 9B do Anexo B e seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,81162. Porém, não houve um modelo matemático que se ajustasse bem aos dados experimentais ( $F_{tab} > F_{cal}$ ). As médias dos tratamentos das densidades dos pellets não-expandidos se encontram na Tabela 19.

Tabela 19 Densidade média dos pellets não-expandidos (DNE) de griz de milho dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11).em função do teor de WPI e da temperatura da 3ª zona do extrusor

	T1	T2	T3	T4	T5	T6)	T7	T8	T9	T10	T11
DNE (g/cm <sup>3</sup> )*	1,04	0,81	0,94	0,77	0,93	0,86	1,02	0,90	0,92	0,89	0,86

T1 – 5% 60°C; T2 – 5% 90°C; T3 – 29% 60°C; T4 – 29% 90°C; T5 – 0,03% 75°C;  
T6 – 33,97% 75°C; T7 – 17% 53,8°C; T8 – 17% 96,2°C; T9, T10 e T11 – 17% 75°C  
\* média de 3 determinações

Ao comparar-se os tratamentos 1 e 2, onde se tem a mesma quantidade de concentrado proteico de soro (WPC), observa-se que a densidade dos pellets diminuíram com o aumento da temperatura do extrusor, o mesmo acontecendo aos T3 e T4, T7 e T8. O amido, ao ser extrusado, é convertido numa pasta viscosa dentro do cilindro por causa da combinação de água, calor e cisalhamento, conforme relatado anteriormente. Em expandidos diretos (snacks), quando a massa saí pela matriz do extrusor, ao final do cilindro ou canhão, a água líquida supersaturada se vaporiza instantaneamente, em consequência da mudança de pressão, passando o produto de uma massa fundida a um produto poroso, após a sua solidificação à temperatura ambiente (AREAS, 1992).

Segundo Gomez e Aguilera (1983) e Chinnaswamy e Hanna (1988), a expansão está diretamente ligada à temperatura, ou seja o incremento desta, até certo ponto, aumenta a gelatinização do amido e, conseqüentemente, há maior expansão. Esta última está relacionada inversamente com a densidade, ou seja, produtos mais expandidos apresentam menor densidade. Os pellets, porém, por causa de altos teores de umidade de condicionamento na sua manufatura, ao saírem da extrusora, apresentam estrutura laminar (de acordo com o formato desejado) sem expansão, mas apresentando certo grau de gelatinização (ASCHERI et al., 1995). Os resultados obtidos da densidade dos pellets não-expandidos indicam que a temperatura mais alta entre os tratamentos com o mesmo teor de proteína, fez aumentar a gelatinização, provocando maior expansão (ainda que pequena e limitada) e, conseqüentemente, menor densidades dos pellets.

A análise de variância da densidade dos expandidos (Tabela 10B, do Anexo B) mostra a influência significativa ( $p < 0,05$ ) das variáveis WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,91481

De acordo com a Figura 15, observa-se que maiores teores de proteína combinada com temperaturas mais altas produziram pellets mais densos. De acordo com Chiang (1977), a expansão está relacionada com o grau de gelatinização ocorrido no processo e com a taxa de evaporação de água, durante a fritura, conforme discutido nos pellets com WPC. Este aumento da densidade pode ser decorrente da diluição no teor de amido, já que o mesmo foi substituído pelo isolado proteico de soro (WPI).

Resultados semelhantes foram obtidos por Ownwulata et al. (2010), onde pellets fritos de blends de quinoa e WPC80 (12,5%) tiveram seus valores de densidade aumentados e menores índices de expansão quando comparados a pellets de quinoa padrão.

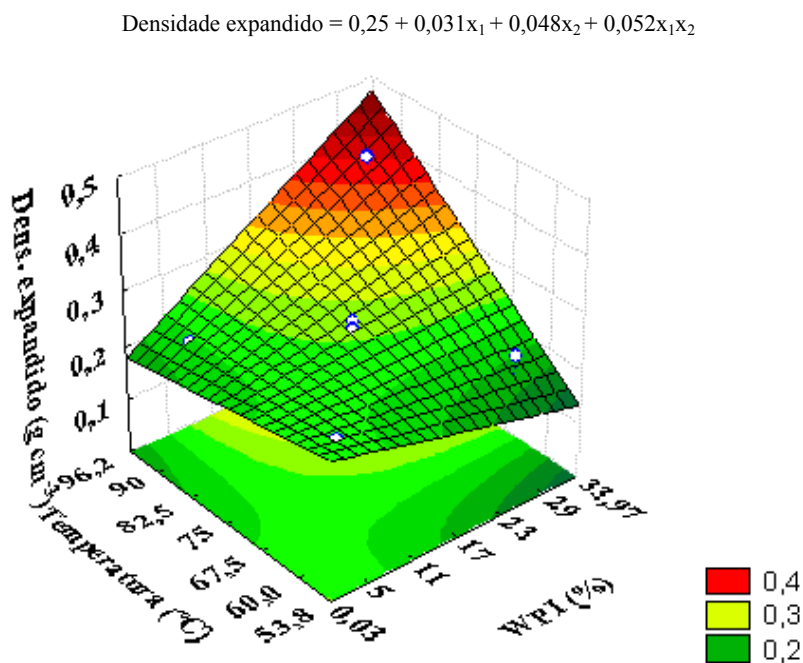


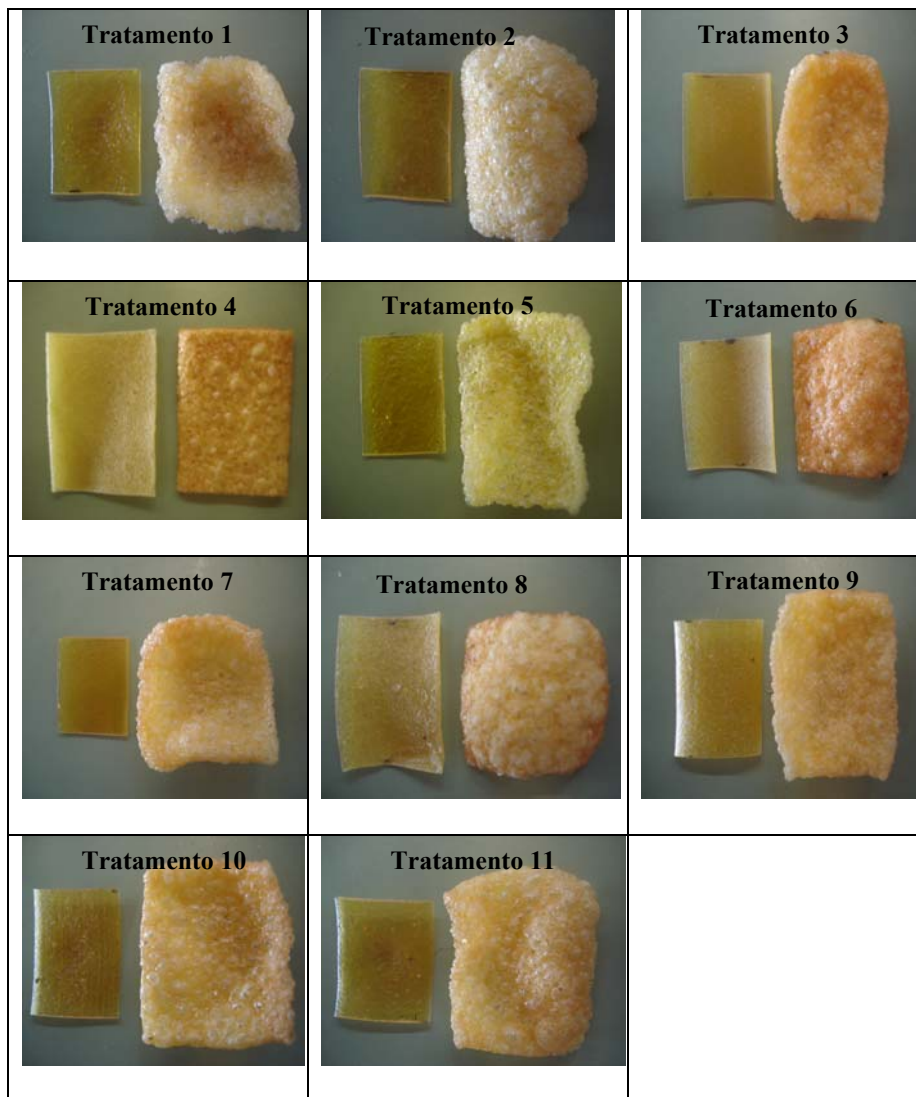
Figura 16 Efeito da variável quantitativa WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor nos valores de densidade dos pellets expandidos ( $\text{g/cm}^3$ ) de grits de milho

Em seu trabalho, Case, Hamann; Schwaetz (1992), extrusando pellets de farinha e amido de trigo e pellets de farinha e amido de milho, em extrusora dupla rosca, verificaram que, após a expansão por fritura, os pellets apresentaram maior volume quando a gelatinização dos grânulos de amido era maior. As amostras de menor volume foram aquelas que obtiveram menor gelatinização. Sendo assim observou-se uma relação direta entre o grau de gelatinização e expansão.

### 4.3.2 Imagens dos pellets

O quadro 2 ilustra as imagens dos tratamentos dos pellets não-expandidos e expandidos. Os tratamentos 01 (5% WPI e 60°C) e 02 (5%WPI e 90°C) apresentaram ótima expansão e cores próximas, onde a diferença de temperatura do extrusor pouco influenciou visualmente os mesmos. Ao observar os tratamento 03 e 04, nota-se uma queda na sua expansão, quando se comparam aos primeiros tratamentos. Isto se deveu ao fato de ambos possuírem maior teor de WPI (29%) e menor teor de milho (71%), com consequente redução da expansão. Observa-se, também, que a maior temperatura do extrusor (90°C) do tratamento 04 diminui sua expansão, quando comparado ao 03. O tratamento 05 (0,03% de WPI) foi o que apresentou a maior expansão e cor mais clara, pois, sua matéria-prima foi praticamente só milho. Ao compará-lo com tratamento 06 (33,97% de WPI), observa-se apenas uma queda na expansão e coloração mais escura. Quando se compara ao pellet não-expandido, vê-se que, praticamente, houve apenas uma cocção do mesmo, com expansão mínima. Os tratamento 07 a 11 possuem o mesmo teor de WPI (29%), porém, valores de temperaturas diferentes. Os tratamentos 09, 10 e 11 (75°C) se mostraram mais expandidos do que os tratamentos 07 (53,8°C) e 08 (96,2°C), provando que a temperatura do ponto central foi bem escolhida e se mostrou ideal na produção dos pellets.

Quadro 2 Imagens do pellets extrusados antes e depois da fritura



### 4.3.3 Cor dos pellets expandidos

A cor é uma característica da luz medida em termos de intensidade e comprimento de onda. Isto surge da presença da luz em intensidades maiores em alguns comprimentos de onda do que em outros (KRAMER,1962). A formação de cor dos produtos extrusados está ligada com a composição da formulação e de reações que ocorrem durante o processo de extrusão. A reação de Maillard é a principal reação na formação de cor dos pellets. Verificando que esta reação ocorre entre um grupo carbonilo livre de açúcar redutor e um grupo amino livre de uma proteína, as pentoses são mais reativas do que hexoses e essas mais do que os dissacarídeos (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007) Já os aminoácidos básicos são mais reativos do que os aminoácidos ácidos (KROH; WESTPHAL, 1989).

De acordo com a Análise de variância (Tabela 10B do Anexo B), a cor dos pellets foram influenciadas significativamente ( $p < 0,05$ ) pela variável WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor e seu coeficiente de determinação foi de 0,85756.

De acordo com a Figura 17, observa-se que o aumento gradativo do WPI aumenta a diferença de cor dos pellets, e o ponto máximo desta última é atingido combinando altos teores de WPI e altas temperaturas. Quanto maior for o teor de proteína, mais aminoácidos estarão presentes para a reação com açúcares provenientes da hidrólise do amido, durante a extrusão, ocasionando polímeros acastanhados (melanoidinas) e de compostos bastante voláteis e aromatizados (CASTRO, 2002).

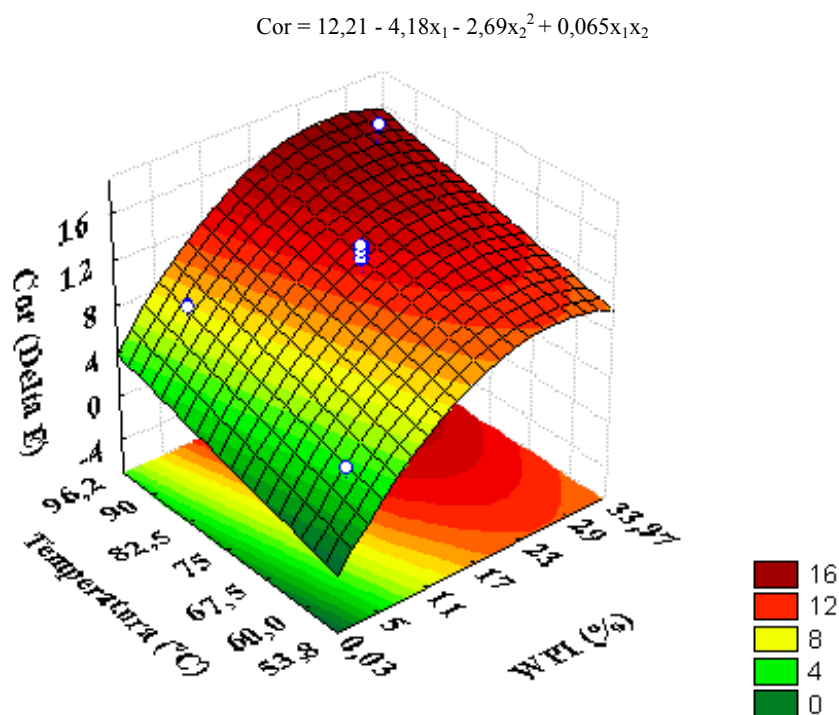


Figura 17 Efeito da variável quantitativa WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor nos valores de diferença de cor ( $\Delta E$ ) dos pellets de grits de milho

Os valores de luminosidade (L) dos pellets (Tabela 20) ocasionaram resultados diversos, onde nem maiores ou menores teores de WPI e temperaturas mostraram alguma tendência nos valores de luminosidade. Porém, a cromaticidade a sofreu alterações em função do aumento dos níveis de WPI e, também, do aumento da temperatura. Quando se comparam os tratamentos 3 (29% WPI e 60°C) com o 4 (29% e 90°C) e os tratamentos 7 (17% WPI e 53,8°C) com o 8 (17% e 96,2°C) verifica-se que um aumento da temperatura aumenta os valores de cromaticidade a. O mesmo aumento da mesma foi relacionado com o aumento de WPI, quando se comparam os tratamentos 5



(0,03% WPI e 75°C) com o 6 (33,97% e 75°C). Como discutido anteriormente, na diferença de cor dos pellets, elevados teores de WPI e temperaturas mais elevadas ocasionam aumento da reação de Maillard, produzindo pigmentos de cores castanhos nos pellets e refletindo no aumento dos valores de cromaticidade a.

Tabela 20 Valores médios para a Luminosidade (L), cromaticidade a e cromaticidade b dos pellets de griz de milho e WPC dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
L*	45,6	55,8	55,4	41,1	48,6	43,6	54,6	50,6	54,6	43,1	42,2
a*	6,15	5,23	8,03	20,7	5,19	16,5	7,80	13,0	13,1	15,9	15,7
b*	21,5	23,5	25,6	20,8	19,2	23,5	23,7	26,6	28,1	26,0	21,9

T1 – 5% 60°C; T2 – 5% 90°C; T3 – 29% 60°C; T4 – 29% 90°C; T5 – 0,03% 75°C; T6 – 33,97% 75°C; T7 – 17% 53,8°C; T8 – 17% 96,2°C; T9, T10 e T11 – 17% 75°C

\* Média de 4 observações

Um aumento nos valores de cromaticidade b parece ter sido ocasionado pelo aumento dos teores de WPI e temperaturas. Sendo assim, observam-se valores maiores e positivos quando se comparam os T1 e T2, T5 e T6, T7 e T8. Valores que tendem ao máximo de cromaticidade b (+60) tendem à cor amarela, indicando influência da reação de Maillard nessa pigmentação.

#### 4.3.4 Textura dos pellets expandidos

O sucesso ou fracasso de um novo produto extrusado é diretamente relacionado a atributos sensoriais, onde a textura é de grande importância, e a crocância um dos principais atributos (VALLÈS PÀMIÉS et al., 2000). Análises

instrumentais de textura em alimentos fornecem indicações rápidas e, relativamente, baratas sobre as características do produto e sua aceitação pelo consumidor (ANTON; LUCIANO, 2007). O teste de punctura para avaliação da crocância dos pellets nos forneceu a frequência de rupturas estruturais (Nsr), força específica das rupturas estruturais (Fsr), forças de compressão (F) e índice de crocância (Wc).

Para a frequência de rupturas estruturais (Nsr), as variáveis independentes WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ), e sua análise de variância (ANOVA) se encontra na Tabela 11B do Anexo B. O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) foi de 0,73387.

Ao observar a Figura 18, tem-se um efeito negativo da temperatura sobre a frequência de rupturas, ou seja, à medida que aumenta a temperatura, diminuem as Nsr. Teores de WPI entre 11 a 23% combinados a baixas temperaturas de extrusão forneceram altos valores de frequência de rupturas.

Verificando que a frequência estrutural de ruptura (Nsr) representa maior número de células de ar ou número de paredes estruturais e, por isto, ela é correlacionada à crocância (VALLÈS PÀMIÉS et al., 2000), tem-se maior frequência de rupturas em baixas temperaturas da 3ª zona do extrusor. Como já foi relatado antes, a expansão dos pellets estaria ligada ao grau de gelatinização, durante a extrusão e o fenômeno “flashing” (rápida evaporação da água), durante a fritura dos pellets. Os resultados sugerem que maior temperatura de extrusão que resultaria em maior gelatinização, provocou a formação de um número menor de bolhas, porém, bolhas maiores e de paredes mais finas, como foi comprovado na análise de força específica de rupturas (Fsr) (Figura 19), onde menor força foi necessária para romper as paredes dos pellets extrusados a altas temperaturas e baixos níveis de WPI. Maiores teores de WPI e altas temperaturas de extrusão, também, produziram um menor número de paredes

estruturais, que pode ser justificado pelo efeito diluidor do amido do griz de milho e maiores interações amido-proteína em temperaturas maiores. Além disso, menor teor de amido tende a formar menor número de bolhas de ar. Nos níveis de 11 a 23% de WPI, houve um aumento no número de Nsr, e para os demais teores houve uma pequena redução no número de Nsr. Este resultado sugere que a interação proteína-amido em certos níveis produziu maior número de bolhas no pellet. Porém, como a expansão dos pellets expandidos (que é inversamente proporcional à densidade, (Gráfico 15) diminuiu com o aumento dos teores de WPI, chegou-se à conclusão de que essas bolhas formadas foram pequenas e de paredes densas, o que fez ocasionar o aumento da Nsr.

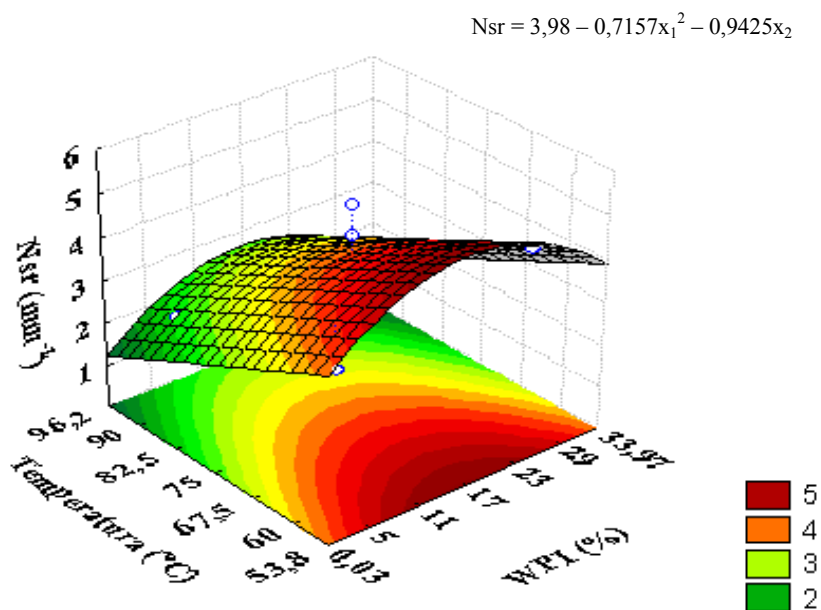


Figura 18 Efeito da variável quantitativa WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor nos valores de frequência de rupturas estruturais (Nsr) (mm<sup>-1</sup>) dos pellets de grits de milho

Os pellets são processados em condições de alta umidade, em temperaturas abaixo de 100°C e baixo cisalhamento para ao que saírem da extrusora apresentem o formato de uma fita e com gelatinização apenas parcial, para que possam ser expandidos posteriormente por meio de fritura ou em forno com circulação forçada. O fenômeno de expansão dos pellets está ligado a mudanças nas propriedades físico-químicas do alimento que ocorrem durante a transferência de calor do óleo para o alimento. Essas mudanças seriam em virtude da gelatinização do amido, desnaturação da proteína, vaporização da água e formação de crosta (SUKNARK, 1999).

A análise de variância para a força específica das rupturas estruturais (Fsr) foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) pela variável proteína linear e pela interação binária (WPI x temperatura) (Tabela 12B, do Anexo B). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo ajustado foi de 0,72936.

A Figura 18 mostra que a combinação de altos valores de WPI combinado a altas temperaturas produziram pellets de paredes celulares mais duras, exigindo maiores forças (N) para rompê-las. Com menores teores de griz de milho, houve menor gelatinização e a menor expansão produziu bolhas menores e de paredes mais densas, exigindo maiores forças para rompê-las. Pode-se observar, também, que menores níveis de WPI e maiores temperaturas de extrusão diminuíram a força das rupturas estruturais, fato que pode ser creditado à gelatinização do amido, com conseqüente maior expansão e bolhas maiores e de paredes mais finas.

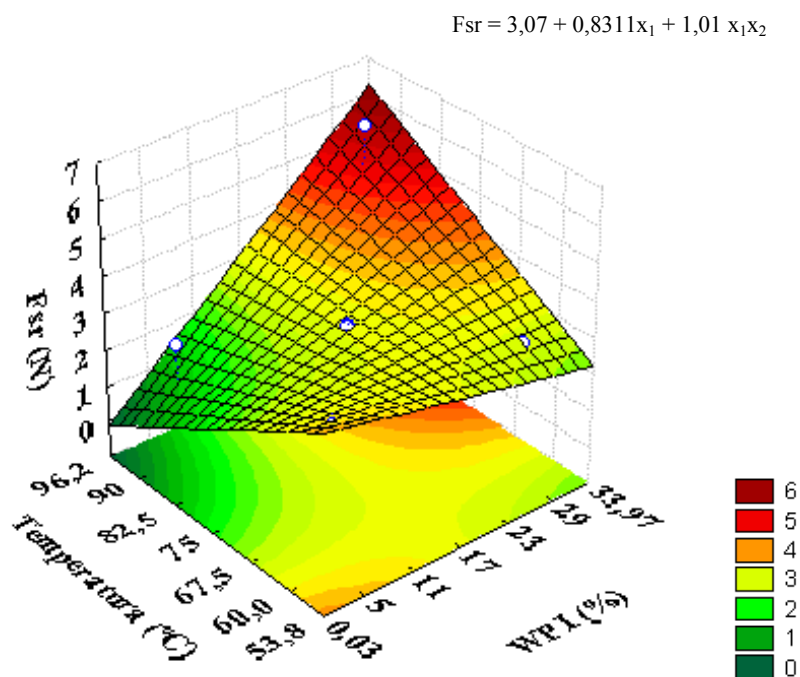


Figura 19 Efeito da variável quantitativa proteína (%) e temperatura (°C) nos valores de densidade absoluta ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) dos pellets com concentrado proteico de soro (WPC) e grits de milho

A análise de variância (Tabela 12B, do Anexo B) para a força de punctura (F) mostrou que não houve influência significativa ( $p \geq 0,05$ ) das variáveis concentração de WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor. Seu valor médio foi de 3,457N. Carvalho, Ascheri e Cal-vidal (2002), utilizando o mesmo teste de punctura em pellets de milho com 26% de umidade, obtiveram 10N para a média da força de punctura (F). Resultados semelhantes foram obtidos por Onwulata et al. (2010), onde valores de dureza medidos em texturômetro não foram significativos ( $p \geq 0,05$ ), quando foram comparados pellets fritos de cevada, mandioca e milho puros com os mesmos pellets feitos de 87,5% de cada uma das fontes amiláceas e 12,5% de WPC80%.

Para o índice de crocância ( $W_c$ ), não houve influência significativa ( $p \geq 0,05$ ) das variáveis WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor. Sua análise de variância se encontra na Tabela 12B, do Anexo B. A média obtida para a crocância foi de 1,031 N mm<sup>-1</sup>

O índice de crocância ( $W_c$ ) é razão entre a força de punctura ( $F$ ) e a frequência de rupturas estruturais ( $N_{sr}$ ), ou seja, uma maior crocância é obtida quando se obtém uma maior força para romper ou quebrar o extrusado e um menor número de bolhas ou de paredes estruturais. Maiores expansões estariam ligadas a células de ar maiores, o que resultaria em menor número destas no extrusado. De uma forma geral, os pellets com WPI apresentam uma tendência de células internas mais duras. Porém, uma menor expansão apresentada pelos mesmos, sugere menores células de ar internas. Como a força de punctura não foi significativa e a frequência de rupturas estruturais gerou resultados diversos, não foi possível apontar uma tendência para a crocância.

#### **4.3.5 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)**

O ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e consequente solubilização do amido (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006).

As variáveis independentes WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ) o índice de solubilidade em água (ISA). Foi apresentado o modelo de equação, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a superfície de resposta do modelo completo (Tabela 13B, do Anexo B), pois, o modelo matemático, sem as variáveis significativas, não se ajustou bem aos dados experimentais ( $F_{tab} > F_{calc}$ ). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,97226.

A Figura 20 mostra a influência do WPI e da temperatura da 3ª zona do extrusor nas respostas de ISA. À medida que aumenta o teor de WPI, tem-se um aumento gradativo nos valores de ISA e se obtém o mais alto valor desta (11,6%) combinando altos valores de WPI e baixas temperaturas. Esse comportamento pode ser explicado pela presença das proteínas do soro (WPI), que apresentam tendência de se ligarem fortemente à água, aumentando sua solubilidade e, assim, ocasionou maiores valores de ISA.

$$ISA = 5,48 + 2,55x_1 + 0,4806x_1^2 - 0,5787x_2 + 0,7581x_2^2 - 0,98x_1x_2$$

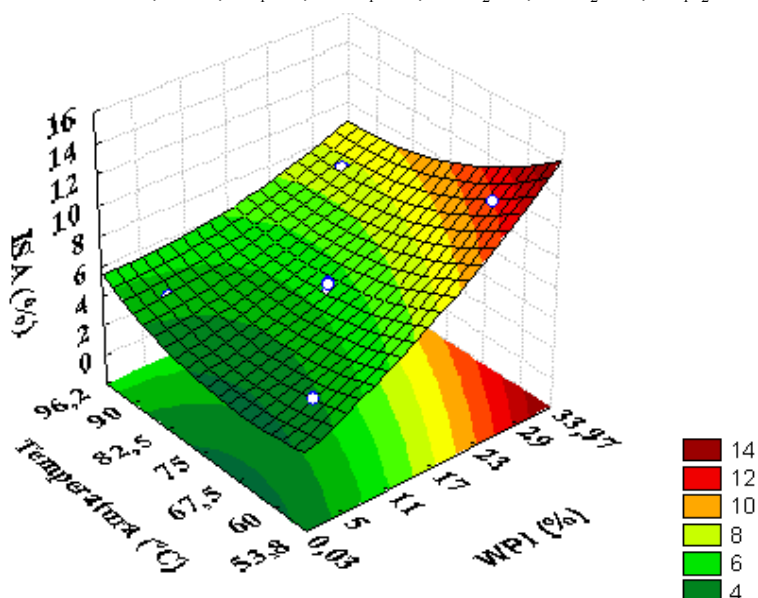


Figura 20 Efeito do isolado proteico de soro (%) e temperatura (°C) no índice de solubilidade em água (ISA) dos pellets de griz de milho

O índice de absorção de água não foi influenciado significativamente ( $P \geq 0,05$ ) pelas variáveis WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor. A análise de variância do IAA se encontra na Tabela 13B do Anexo B. O valor médio de IAA

foi de 5,51 g de gel  $\text{g}^{-1}$  de matéria seca. As condições de extrusão utilizadas neste trabalho para os pellets de alta umidade (37%), baixa rotação do parafuso (100 r.p.m.) e temperaturas mais baixas (de 50 a 100°C) resultaram em menores teores de gelatinização e, conseqüentemente, menores valores de IAA. Além disso, a presença da proteína limitou a água disponível para a gelatinização do amido. Resultados próximos foram obtidos por Onwulata et al. (2010) que obteve valores iguais estatisticamente em pellets de quinoa puro e em pellets de quinoa e 12,5%WPC80%, indicando que o acréscimo da proteína não acarretou maiores valores de IAA.

#### **4.3.6 Viscosidade de pasta**

O analisador rápido de viscosidade (RVA) é um instrumento para determinar as propriedades de viscosidade do amido sob condições de aquecimento controlado. Quando grânulos de amido são aquecidos em água, os grânulos absorvem uma grande quantidade de água e incham, aumentando em muitas vezes o seu tamanho original. Quando a maioria dos grânulos incham, ocorre um rápido aumento na viscosidade, onde os grânulos inchados são susceptíveis à ruptura. A viscosidade máxima ocorre no ponto de equilíbrio entre os grânulos inchados e os grânulos rompidos, causando um aumento na viscosidade. Quando a ruptura dos grânulos inchados aumentam, ocorre a diminuição da viscosidade. Como a mistura é posteriormente resfriada, a re-associação entre as moléculas do amido moléculas podem ocorrer. Em concentração suficiente, isto provoca a formação de gel, com conseqüente aumento na viscosidade final (SRIBURI; HILL, 2000).

As Figuras 21 e 22 mostram os perfis de curvas de viscosidade de pasta de todos os tratamentos dos pellets em função dos variados teores de WPI e temperaturas.



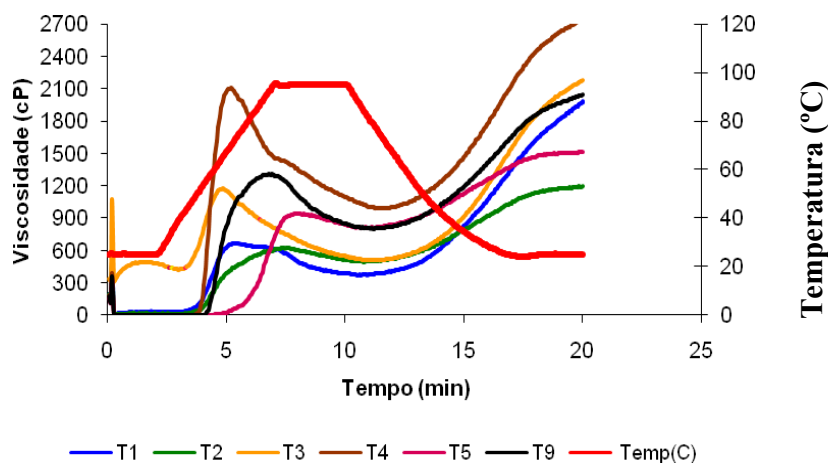


Figura 21 Representação gráfica da viscosidade de pasta aparente dos tratamentos 1,2,3,4,5 e 9 dos pellets de griz de milho e WPI

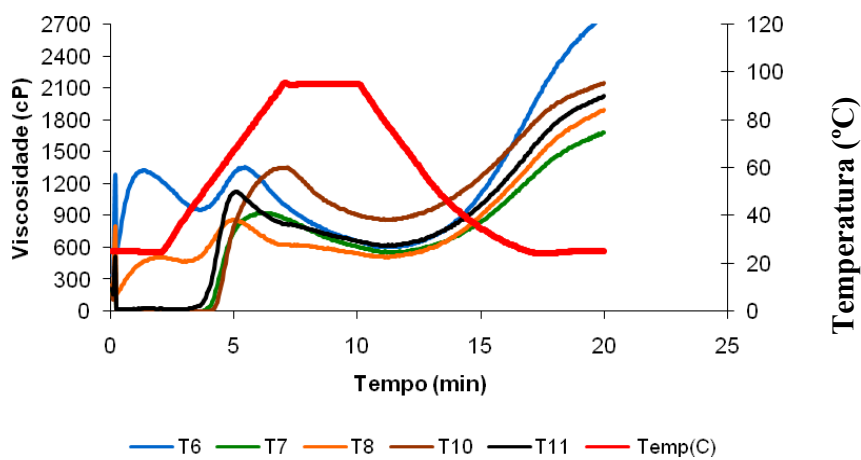


Figura 22 Representação gráfica da viscosidade de pasta aparente dos tratamentos 6,7,8,10 e 11 dos pellets de griz de milho e WPI

Pode-se notar que os T3 (29% WPI e 75°C) e T8 (17% WPI e 96,2°C) apresentaram uma maior viscosidade a frio do que os demais tratamentos. As proteínas do soro (WPI), ao serem aquecidas e sofrerem cisalhamento durante a extrusão, sofrem mudança de conformação expondo grupos ativos que se ligam à água e formam gel quando há água suficiente. Por isso, ao serem agitadas no aparelho RVA, em excesso de água, há formação de gel com conseqüente aumento da viscosidade a frio. O T6 apresentou dois picos de viscosidade bem pronunciados. O primeiro pico ocorreu na viscosidade a frio e parece estar ligado à formação de gel pelas proteínas (assim como ocorreu nos T3 e T8, porém, com maior aquecimento) e o segundo pico estaria ligado à gelatinização do amido em excesso de água. Ao analisar a viscosidade a 95°C, observa-se que o T4 apresentou o mais alto valor (2100 cP) entre todos os tratamentos. Este último tratamento possui 29% de WPI e as proteínas, ao serem aquecidas, apresentam mudança de conformação da sua estrutura e formam gel aumentando, assim, a viscosidade (talvez isto tenha ocorrido de forma parcial durante a extrusão, em consequência da condição limitada de umidade). Outro fator importante é a maior afinidade das proteínas com a água, ligando-se fortemente a ela e limitando a disponibilidade de água para o milho, inibindo a gelatinização parcial do amido, contido no griz de milho, durante a extrusão. Mas, quando esse amido está em excesso de água (condição de análise no RVA), ocorre a gelatinização do mesmo aumentando, assim, a viscosidade do meio. Pode-se observar, também, que os T1 e T2 (5 % de WPI) e T5 (0,03%) tiveram os menores picos de viscosidade máxima a 95°, pois, apresentando pouca proteína, houve maior umidade disponível para a gelatinização do amido, durante a extrusão, causando menores picos de viscosidade ao serem novamente aquecidas no RVA. Observa-se, também, que o T5 que possui apenas milho, atinge seu pico de gelatinização, depois dos demais tratamentos, fato que pode ser creditado ao efeito diluidor do amido, devido a substituição do milho pela

proteína nos tratamentos diferentes ao do T5. Os T3, T4 e T6 foram os que apresentaram maiores viscosidades finais, por apresentarem maiores teores de proteína. Isto foi causado pela gelificação das proteínas do soro, causando um aumento da dureza dos géis.

A viscosidade a 25°C indica a capacidade do amido em absorver água em temperatura ambiente, e formar pasta ou gel, característico de amido pré-processado por extrusão. Os grânulos de amido cru, normalmente são insolúveis em água fria, mas quando submetidos a um tratamento termo-mecânico, ocorre rompimento nas pontes de hidrogênio que ligam as moléculas em rede micelar, favorecendo a capacidade de hidratação e resultando em processo de intumescimento irreversível, que irá refletir o seu grau de pré-gelatinização (EL-DASH; GONZALEZ; CIOL, 1984). A viscosidade mínima a 25°C dos pellets não foi influenciada significativamente ( $p \geq 0,05$ ) pelas variáveis WPI e temperatura. Sua análise de variância se encontra na Tabela 14B, do Anexo B. O valor médio dos tratamentos foi de 227,82 cP e indica que as condições de alta umidade, temperaturas menores e baixa velocidade do parafuso não provocaram alta gelatinização e nem dextrinização das moléculas do amido durante a extrusão. Quando se confrontam os resultados aqui obtidos da viscosidade a 25°C e os gráficos 20 e 21, observa-se que os T3, T6 e T8 tiveram uma maior viscosidade a frio, porém, como os demais tratamentos tiveram resultados próximos entre si, a estatística, provavelmente, não detectou diferença entre eles.

A viscosidade máxima, durante o ciclo de aquecimento, caracteriza-se pelas transformações que ocorrem na estrutura granular do amido submetido ao processo de aquecimento como resultado da desorganização molecular, principalmente da amilose, que leva a um entumescimento total, gelatinização, dextrinização e absorção máxima de água pelos grânulos de amido (SILVA, 2006).

Apenas a variável WPI influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) a viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento. Porém, não houve um modelo matemático que se ajustasse bem aos dados experimentais ( $F_{cal} < F_{tab}$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 14B, do Anexo B. As medias dos tratamentos de viscosidade máxima se encontram na Tabela 21.

Tabela 21 Viscosidade máxima a 95°C dos pellets de griz de milho dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11), em função do teor de WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
V <sub>máx</sub>	661	623	1172	2104	942	1354	925	861	1304	1350	1121
(cP)*											

T1 – 5% 60°C; T2 – 5% 90°C; T3 – 29% 60°C; T4 – 29% 90°C; T5 – 0,03% 75°C;  
T6 – 33,97% 75°C; T7 – 17% 53,8°C; T8 – 17% 96,2°C; T9, T10 e T11 – 17% 75°C

\* média de 2 determinações

Os resultados obtidos da viscosidade máxima, de maneira geral, apontam que maiores teores de WPI aumentam a viscosidade. Conforme discutido antes, as proteínas se ligam fortemente à água, limitando a gelatinização do amido durante o processo de extrusão. Sendo assim, quanto maior for o teor de WPI, menor será a água disponibilizada para o amido, que posteriormente em análise de RVA, apresentou maiores picos de gelatinização. Durante o processo de extrusão, dependendo das condições do processo, o tratamento térmico pode destruir a estrutura cristalina do amido de tal forma que, no ciclo de aquecimento do RVA ou viscoamilógrafo, a curva de viscosidade apresente ausência de pico e baixos valores de viscosidade. Porém, se os tratamentos não forem muito severos, uma determinada porcentagem de grânulos de amido pode ter conservado parte da estrutura amilácea. Nestas

condições observam-se valores relativamente altos de viscosidade de pasta, pois, há maiores grânulos em condição de intumescimento (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002).

Para a variável dependente viscosidade mínima a 95°C, não houve influência significativa ( $p < 0,05$ ) das variáveis independentes WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor. A análise de variância se encontra na tabela 15B do Anexo B. O valor médio da viscosidade mínima foi de 645,90 cP. Verificando-se que a viscosidade mínima ocorre quando a ruptura dos grânulos de amido (liquefação), em decorrência da agitação chega ao máximo, o valor médio de 645,90 cP pode ser considerado alto. Mesmo com a liquefação do amido, o que reduziria a viscosidade a valores mais baixos, esse alto valor foi provocado pela formação de gel pelas proteínas. Durante a extrusão, o aquecimento e cisalhamento sofrido pelas proteínas, provocam uma mudança na sua conformação, mas, em virtude da umidade limitada, não se formam géis. Mas, sob condições de excesso de água e novo aquecimento, há uma formação de géis. De acordo com Dewit e Klarenbeek (1984), as proteínas do soro são capazes de formar géis viscoelásticos após aquecimento e desnaturação (DEWIT; KLARENBECK, 1984).

O breakdown, também conhecido como quebra da viscosidade, representa a diferença entre o pico de viscosidade e o menor valor de viscosidade, após o pico no perfil amilográfico. É possível avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, sob agitação mecânica. Apenas a variável dependente WPI influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) nos valores de “breakdown”. O seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,76123.

A Figura 23 ilustra a superfície de resposta em função do teor de WPI e temperatura da 3ª zona do extrusor para o “breackdown”. O teor de WPI influenciou linearmente os valores de “breackdown”, ou seja, à medida que aumentam a proteína aumenta também, o “breackdown”. Este resultado pode ser

creditado à formação de gel pelas proteínas, ocasionando maiores valores de viscosidade com o aumento do WPI. Onwulata et al. (2010) obteve valores de 473,4 cP de viscosidade “breakdown” para pellets de cevada e 509,9 cP para o mesmo parâmetro para pellets de cevada e 12,5% de WPC80%. É necessário ressaltar que tanto o trabalho deste último autor, como o trabalho aqui descrito, as misturas extrusadas estavam em torno de 37%, o que permitiu que as proteínas do soro se desnaturassem e agregassem, ocasionando a formação de gel posteriormente.

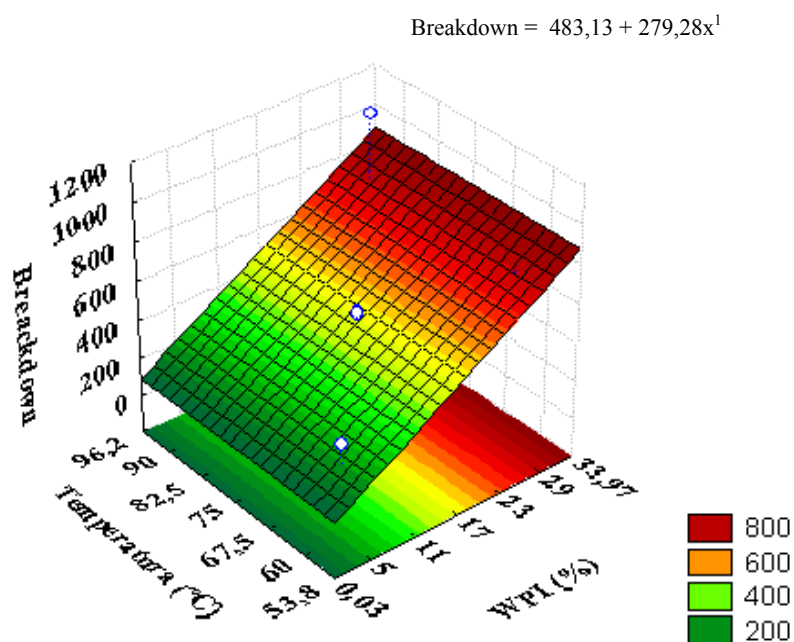


Figura 23 Efeito da variável quantitativa WPI nos valores de breakdown dos pellets de griz de milho

Os valores de “setback” representam a tendência do amido a retrogradação. Porém, na presença de proteínas do soro esse comportamento

pode ser alterado, como foi o resultado aqui obtido. O “setback” foi influenciado significativamente ( $p < 0,05$ ) pela variável WPI, no entanto, não houve um modelo matemático que se ajustasse bem aos dados experimentais ( $F_{tab} > F_{cal}$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 16B do Anexo B. As médias dos tratamentos do setback se encontram na Tabela 28.

Tabela 22 Setback dos pellets com isolado proteico de soro (WPI) e griz de milho dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11), em função do teor de WPI e temperatura

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Setback (cP)	1613	697	1678	1754	705	2179	1127	1386	1249	1285	1405

T1 – 5% 60°C; T2 – 5% 90°C; T3 – 29% 60°C; T4 – 29% 90°C; T5 – 0,03% 75°C;  
 T6 – 33,97% 75°C; T7 – 17% 53,8°C; T8 – 17% 96,2°C; T9, T10 e T11 – 17% 75°C  
 \* média de 2 determinações

De acordo com a Tabela 22, observam-se resultados bastante diversos. Porém, quando se compara o tratamento padrão 05 com os demais, nota-se que a presença do WPI nos tratamentos aumentou a viscosidade do “setback”. Durante o aquecimento das soluções amido-proteína, houve a formação de géis, na presença de maiores teores de WPI. Estes géis, quando resfriados, tornaram-se firmes, causando aumento da viscosidade “setback”. Observa-se que os tratamentos 03, 04 e 06, que possuem os maiores teores de WPI, apresentaram maiores viscosidades ao serem resfriados.

#### 4.3.7 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A conversão do amido ocorre durante a extrusão e o grau desta depende do conteúdo de água e energia mecânica e térmica aplicada (CARVALHO; MITCHELL, 2001). O grau de conversão do amido (%) não foi influenciado significativamente ( $p \geq 0,05$ ) pelas variáveis WPI e temperatura do extrusor, e sua análise de variância se encontram na Tabela 16B do Anexo B. A média do grau de conversão do amido foi de 80,17%, ou seja, 80% do amido foram gelatinizados durante o processo de extrusão. Os resultados sugerem, também, que a interação proteína-amido não afetou a gelatinização parcial dos pellets, embora estes resultados não estejam de acordo com os dados obtidos da viscosidade de pasta. Os gráficos obtidos do RVA (Figuras 21 e 22) indicam graus diferentes de gelatinização dos diversos tratamentos.

As temperaturas de gelatinização iniciais ( $T_0$ ) e de pico ( $T_p$ ) e a entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ) dos pellets estão na Tabela 23.

À exceção dos T6 e T8, os demais possuem  $T_0$  entre 50,24°C e 64,18°C. Quando se comparam estes valores ao do griz de milho cru (66,01°C) e do WPI (72,22°C), observa-se que houve uma redução das  $T_0$  dos pellets, em virtude do processo de gelatinização parcial ter ocorrido durante a extrusão. As entalpias de gelatinização do milho cru (6,649 J/g) e de desnaturação do WPI (2,7580 J/g), também, são maiores do que as entalpia dos pellets não-expandidos. Para os tratamentos 01, 02, 03, 09, 10 e 11 foi necessário uma menor quantidade de energia ( $\Delta H$ ) para gelatinizar os mesmos quando comparados aos tratamentos 04, 05 e 07. Valores de entalpias menores indicam que a estrutura cristalina do amido e da proteína foi afetada e rompida pela ação combinada do calor, umidade e cisalhamento durante o processo de extrusão.



Tabela 23 Temperatura de gelatinização iniciais ( $T_0$ ), de pico ( $T_p$ ) e entalpia de gelatinização ( $\Delta H$ ) dos pellets de griz de milho e WPI dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11)

Tratamentos	$T_0$ (°C)	$T_p$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
1 (5% WPI 60°C)	56,38	62,25	0,8488
2 (5% WPI 90°C)	54,25	58,36	0,6369
3 (29% WPI 60°C)	53,19	61,33	0,4465
4 (29% WPI 90°C)	50,24	55,98	2,5340
5 (0,03% WPI 75°C)	52,22	58,05	3,7910
6 (33,97% WPI 75°C)	0	0	0
7 (17% WPI 53,8°C)	50,63	57,54	2,5850
8 (17% WPI 96,2°C)	0	0	0
9 (17% WPI 75°C)	51,79	59,66	0,4635
10 (17% WPI 75°C)	64,18	64,78	0,3896
11 (17% WPI 75°C)	53,04	59,40	0,9065

Silva (2004), trabalhando com pellets de arroz e vários níveis de sacarose e umidade, obteve resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, onde sua farinha de arroz nativa (não-extrusada) atingiu maiores valores de  $T_0$ ,  $T_p$  e  $\Delta H$  quando comparados aos pellets não-expandidos. Com o aquecimento acima da temperatura de gelatinização, a água penetra nas regiões amorfas dos grãos e o inchamento irreversível é acompanhado pela perda da ordenação e da semicristalinidade dos grãos e pela liberação da amilose na solução. A ruptura das regiões cristalinas é seguida pelo desenovelamento das hélices duplas até que a estrutura esferulítica granular seja parcial ou totalmente destruída. Durante o processo de extrusão dos pellets, quase não ocorre degradação molecular ou despolimerização, em decorrência das condições de baixo cisalhamento

utilizadas (DONOVAN, 1979; FUKUOKA; OHTA; WATANABE, 2002; OLKKU; RHA, 1978). Os tratamentos 06 e 08 tiveram toda a estrutura do amido e da proteína bastante alterada, resultando em nenhum valor de entalpia.

#### 4.3.8 Composição centesimal e valor calórico

A composição centesimal corresponde à proporção dos grupos homogêneos de substâncias presentes em 100g de um alimento, exprimindo de forma grosseira o seu valor nutritivo. Os grupos homogêneos de substâncias dizem respeito àqueles compostos que se encontram em praticamente todos os alimentos como a umidade, lipídeos, proteína bruta, cinzas e fração glicídica (VILAS BOAS, 2005).

Os resultados da composição centesimal dos pellets de milho e WPI se encontram na Tabela 24.

Tabela 24 Composição centesimal média e valor calórico dos pellets de milho e concentrado proteico de soro (WPI) em base integral

Composição (g 100g <sup>-1</sup> )	T1	T2	T5	T7	T12
Umidade	3,25	3,18	2,89	2,62	3,06
Extrato etéreo	19,99	18,94	20,76	21,18	17,12
Proteína	9,09	8,67	5,77	12,91	14,28
Cinzas	0,26	0,29	0,23	0,38	0,42
Fibra	2,89	nd	2,88	nd	3,89
alimentar					
Carboidrato	64,52	nd	67,47	nd	61,23
Valor Calórico	474,35	nd	479,80	nd	456,12

nd – não determinado

O teor de umidade dos tratamentos dos pellets ficou bem próximo, pois, passou pelos mesmos processos de extrusão, secagem e expansão. As fitas dos pellets, ao saírem do extrusor, estão com a umidade em torno de 35% e são secos em estufa até atingir a umidade média de 8% para, posteriormente, serem expandidos. A umidade, assim como a expansão final dos pellets é resultante do processo de cocção por fritura. Durante esta, a transferência de calor e massa ocorrem simultaneamente. A transferência de calor ocorre pelo óleo ao redor da superfície do produto por convecção e dentro do alimento por condução (SINGH, 1995). A transferência de massa ocorre pelo movimento do óleo para o alimento e movimento de água, em forma de vapor, proveniente do alimento para o óleo. A umidade evaporada da superfície dos pellets criou uma pressão de vapor maior do que a do óleo e resultou na expansão (COLONNA; TAYEB; MERCIER; LINKO; HARPER, 1998). Durante seu estudo com batatas fritas para consumo, Gamble, Rice e Selman (1987), notaram que a água livre na superfície dessas batatas evaporaram rapidamente e que a umidade interna evaporou mais lentamente produzindo um gradiente de pressão. Eles, também, descobriram que o teor de água dos chips decresceu e o conteúdo de óleo aumentou durante a fritura. Os teores de extrato etéreo sofreram pequena variação entre 17,12 % a 21,18%, e estão de acordo com Mercier, Linko e Harper (1998), onde os half-products ou pellets expandem e absorvem de 15 a 25% de óleo quando fritos. Os teores de proteína dos pellets foram aumentados com a substituição do grãos de milho pelo WPI, assim como havia acontecido com os pellets com WPC. Ao comparar o tratamento 05 (0,03% de WPI) com os tratamentos 01 e 02 (5% WPI) obteve-se um aumento proteico de mais de 50%. E o incremento de proteína dos tratamentos 07 e 12% (17% de WPI) em relação ao tratamento padrão superaram 120%. A cada 100g dos tratamentos 01 e 02 atendem a mais de 65% das necessidades diárias de proteínas para crianças de 1 a 3 anos de idade (DIETARY REFERENCE INTAKES - DRIs, 2005). E os

tratamentos 07 e 12 atendem integralmente os valores 13g/dia de proteína para crianças da mesma faixa etária.

Cinza de um alimento é o resíduo inorgânico que permanece, após a queima da matéria orgânica, que é transformada em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e NO<sub>2</sub>. Ela é constituída, principalmente, de grandes quantidades de: K, Na, Ca e Mg e em pequenas quantidades de Al, Fe, Cu, Mn e Zn (CECCHI, 2003). Os valores de cinzas dos pellets tiveram um pequeno acréscimo nos tratamentos 07 e 12, justamente por terem os maiores quantidades de WPI dentre todos os tratamentos. Como já foi discutido antes, este acréscimo foi em virtude do maior teor de cinzas do WPI quando comparado ao milho (Tabela 11).

Os valores de fibra alimentar para os pellets foram próximos entre si, onde apenas o tratamento 12 obteve um pequeno incremento no mesmo. Conforme já discutido anteriormente nos pellets com WPC, a gelatinização do amido pode contribuir para a formação de amido resistente alterando os valores de fibra alimentar. O grãos de milho, matéria-prima base na produção dos pellets, é fonte tanto de fibra alimentar solúvel quanto da insolúvel e, provavelmente, é o que mais participa na constituição do total da fibra alimentar. As fibras solúveis apresentam grande capacidade de formar gel no intestino, dificultando a absorção de compostos como os lipídeos, carboidratos e colesterol, retardando a taxa de absorção e mantendo a glicemia a níveis constantes (CASTRO, 2002). Fazem parte das fibras alimentares solúveis as pectinas, hemiceluloses, amido resistente, gomas e mucilagens. As fibras insolúveis constituídas pela lenhina, celulose e algumas hemiceluloses, têm como papel principal aumentar a massa fecal, estimulando, assim, o peristaltismo intestinal (MEISTER, 1996 citado por CASTRO, 2003).

O teor de carboidrato ou a fração energética do produto, do T12 foi menor do que o dos T1 e T2, já que o T12 obteve maiores teores de proteína e um pequeno incremento da fibra alimentar, contribuindo, assim, para a redução

do teor carboidrático. O valor calórico do T12, também, foi menor do que o dos demais tratamentos, por causa da redução do extrato etéreo e do carboidrato do citado tratamento. Mas quando se comparam todos os pellets com suas matérias-primas (Tabela 11), observa-se um grande aumento do valor calórico dos mesmos, o que pode ser motivo de rejeitado pelo consumidor. Este aumento pode ser creditado à alta absorção de óleo dos pellets durante o processo de fritura.

#### 4.3.9 Aminoácidos

A Tabela 25 informa os aminoácidos em mg 100g<sup>-1</sup> de amostra e em mg 100g<sup>-1</sup> de proteína na matéria seca dos T1 (5% WPI e 60°C), T2 (5% WPI e 90°C), T5 (0,03% WPI e 75°C), T7 (17% WPI e 53,8°C) e T12 (17% WPI e 96,2°C) dos pellets com WPI.

Quando se comparam os teores de aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> de amostra (1) dos T1 e T2, observa-se que os valores foram relativamente próximos, indicando que o aumento de temperatura de extrusão do T2 (90°C) não interferiu nos resultados. Porém, quando se comparam os T7 e T12, que possuem o mesmo teor de WPI e temperaturas diferentes de extrusão, observa-se um pequeno aumento de todos os aminoácidos do T12, sugerindo que a temperatura de 75°C de extrusão foi um fator positivo nos resultados de aminoácidos. O T05 (0,03%) quando comparado aos demais, possui um menor teor de todos os aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> (exceto a isoleucina). Estes resultados indicam que os variados teores de WPI nas formulações dos pellets incrementaram tanto os aminoácidos essenciais, quanto os não-essenciais analisados, quando se compara com o pellet padrão de milho. Observa-se, ainda, que o aminoácido lisina, que é limitante nos cereais (incluindo o milho), foi aumentado de 4 a 12 vezes mais nos demais tratamentos com o WPI.

Tabela 25 Aminoácidos presentes nos tratamentos dos pellets de milho e WPI

Aminoácidos <sup>1</sup>	T1		T2		T5		T7		T12		FAO
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	*
Histidina	0,13	1,36	0,13	1,48	0,10	1,73	0,15	1,18	0,18	1,23	1,9
Isoleucina	0,20	2,17	0,21	2,29	0,42	6,99	0,32	2,45	0,39	2,65	2,8
Leucina	0,57	6,13	0,61	6,78	0,41	6,99	0,75	5,64	0,88	5,98	6,6
Lisina	0,15	1,62	0,14	1,61	0,03	0,53	0,32	2,42	0,40	2,74	5,8
Fenilalanina e tirosina	0,44	4,72	0,42	4,76	0,34	5,80	0,51	3,83	0,59	3,99	6,3
Valina	0,24	2,60	0,25	2,83	0,16	2,67	0,37	2,78	0,43	2,93	3,5
Treonina	0,22	2,38	0,22	2,47	0,10	1,73	0,39	2,92	0,48	3,27	3,4
Metionina e cisteína	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,5
Triptofano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,1
Asparagina	0,34	3,66	0,32	3,64	0,16	2,80	0,58	4,40	0,71	4,83	---
Serina	0,24	2,54	0,24	2,74	0,16	2,67	0,33	2,51	0,40	2,74	---
Glutamina	0,87	9,24	0,90	10,1	0,63	7,03	1,23	9,30	1,50	10,2	----
Glicina	0,12	1,28	0,13	1,48	0,10	1,72	0,15	1,15	0,18	1,23	----
Arginina	0,15	1,66	0,17	1,93	0,14	2,33	0,22	1,68	0,26	1,79	----
Alanina	0,31	3,28	0,32	3,59	0,24	3,99	0,40	3,01	0,48	3,24	----
Prolina	0,44	4,64	0,46	5,12	0,36	6,00	0,53	3,98	0,60	4,08	----
Aminoácidos totais	4,4	47,3	4,5	50,8	3,3	56,5	6,2	47,2	7,5	50,9	----

\*FAO (1990) – recomendado para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos

<sup>1</sup> – Média de 2 observações

2 – aminoácidos em .g 100g<sup>-1</sup> de amostra

3 – aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> de proteína

nd – não foi possível determinar

Dos tratamentos analisados, o T7 e T12 são os que possuem os maiores valores de WPI (17%) e de proteína (Tabela 24) e isto se refletiu nos valores de todos os aminoácidos que foram superiores aos demais tratamentos. Esses

resultados indicam uma co-relação positiva no acréscimo do WPI nas formulações e conseqüente aumento dos aminoácidos dos pellets. Quando se compara o aminoácido histidina dos tratamentos com o padrão FAO para crianças na faixa etária de 2 à 5 anos, observa-se que o tratamento 5 foi o que obteve maior valor superando os demais

Para a isoleucina, o tratamento 05 superou os valores recomendados pela FAO (1990) e o tratamento 12 ficou próximo do estipulado e os demais abaixo. Os T2 e T5 superaram os valores FAO para o aminoácido leucina e, embora o WPI tenha aumentado os valores de lisina dos tratamentos, nenhum deles atingiu o recomendado. Nenhum dos tratamentos atingiu o recomendado FAO para os aminoácidos fenilalanina e tirosina, onde o tratamento 05 obteve o melhor resultado. Os aminoácidos valina e treonina foram maiores nos pellets com WPI quando comparados ao tratamento padrão de milho, porém, nenhum atingiu a meta da FAO (1990)

#### **4.4 Caracterização dos snacks com concentrado proteico de soro lácteo (WPC)**

As análises de índice de expansão radial, densidade, cor, textura, ISA, IAA, viscosidade de pasta, composição centesimal e aminoácidos dos snacks com WPC serão descritos a seguir.

##### **4.4.1 Índice de expansão radial (IER) e densidade**

A estrutura de produtos expandidos depende do grau de gelatinização do amido e da subsequente expansão do vapor de água originada pela queda de pressão na saída do material pela matriz do extrusor. A restrição final na matriz da extrusora aumenta a pressão final interna. Quando o amido fundido sai, a passagem repentina da umidade interna para estado gasoso, em virtude da queda

de pressão, causa uma expansão do produto (MERCIER; LINKO; HARPER,1998).

O índice de expansão radial (IER), que é calculado pela razão do diâmetro do snacks pelo diâmetro da matriz, foi influenciado significativamente ( $p < 0,05$ ) apenas pela variável WPC. O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) foi de 0,82916 e sua análise de variância (ANOVA) se encontra na Tabela 17B do Anexo B.

A Figura 24 mostra a superfície de resposta do índice de expansão radial (IER), onde se vê que um aumento dos teores de WPC diminui linearmente o IER. A rotação do parafuso não influenciou a expansão dos extrusados.

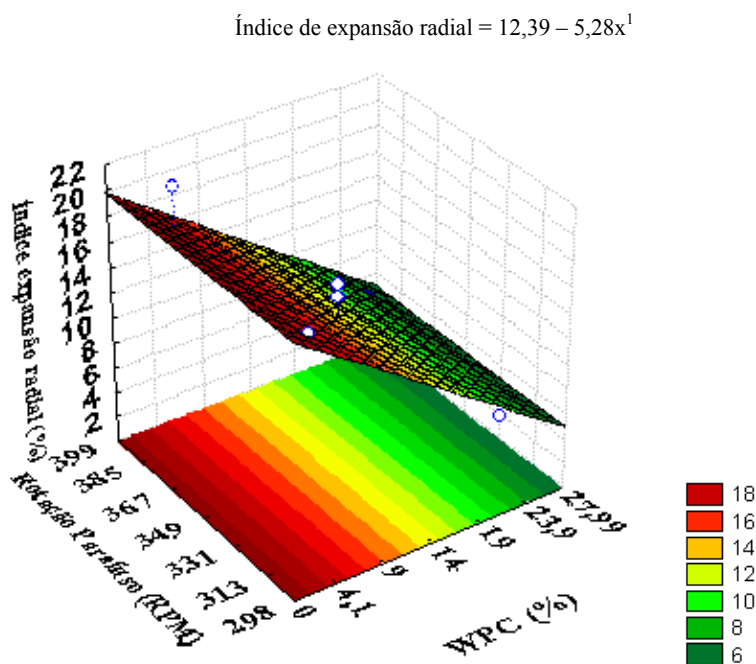


Figura 24 Efeito do WPC no índice de expansão radial (IER) dos snacks de griz de milho



Os resultados indicam que a substituição do griz de milho pelo WPC diminui a expansão dos pellets. A estrutura de produtos expandidos diretos depende da gelatinização do amido e do amido fundido na saída da matriz. A pressão dentro da extrusora aumenta por causa da restrição na saída final da matriz. Uma vez que o amido derretido emerge na saída da matriz, grande quantidade de umidade evapora rapidamente (flash-off) fazendo com que a queda de pressão cause a expansão do produto. A pressão de vapor de água é responsável por formar bolhas no extrusado derretido, estas, também, responsáveis pela expansão dos extrusados (MERCIER; LINKO; HARPER, 1998). Quando as proteínas do soro estão presentes em sistemas de amido, as duas moléculas tendem a interagir uma com a outra, alinhando-se linearmente e formando complexos amilose-proteína (COLONNA; TAYEB; MERCIER, 1989; KIM; MAGA, 1987). Esses complexos conduzem ao inchamento limitado do grânulo de amido (OLSSON; STANDING; HERMANSSON, 2000), ocasionando menores expansões dos produtos extrusados. De acordo com Moraru e Kokini (2003), as proteínas têm um efeito na expansão, por meio da sua habilidade de afetar a distribuição da água na matriz amilácea (limitando a gelatinização) e sua estrutura molecular contribui para a formação de uma extensiva rede mediante ligações covalentes e não covalentes que ocorrem durante o processo de extrusão.

Os resultados aqui obtidos estão de acordo com Allen et al. (2007), onde extrusados expandidos de amido de milho e WPC80 tiveram sua expansão reduzida à medida que se aumentou o teor de proteína. Onwulta et al. (2001) observaram menores índices de expansão em snacks de milho e batata quando se acrescentaram 25% e 50% de WPC34 às formulações dos snacks.

A densidade dos extrusados tem sido correlacionada inversamente com a expansão (SILVA et al., 2008), ou seja, snacks mais expandidos são menos densos. A densidade dos snacks foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ )

pela variável WPC, e sua análise de variância se encontra na Tabela 17B do anexo B. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado foi de 0,85769.

A Figura 25 mostra as curvas da superfície de resposta para a densidade dos snacks com WPC. Observa-se que a maior densidade foi obtida nas maiores concentrações de WPC, o que correlaciona negativamente a densidade com a expansão (Figura 24). Conforme discutido anteriormente, o amido desempenha o papel principal na expansão, onde outros ingredientes como proteínas, açúcares, gorduras e fibras agem como diluentes. Máxima expansão é observada com amido puro (MORAU; KOKINI, 2003). A substituição do griz de milho pela WPC, produz efeito diluidor, diminuindo a gelatinização do amido, ocasionando menor expansão e maior densidade. Efeito semelhante foi obtido por Obatolu Veronica, Omueti Olusola e Adebawale (2006), onde a densidade dos snacks aumentou quanto maior foi a substituição do milho por soja, parcialmente, desengordurada; Onwulata et al. (2010), ao adicionarem 25% de WPC80 em snacks de milho, obtiveram maiores densidades e menores expansões quando comparados ao snack puro de milho; Allen et al. (2007), em seu trabalho de snacks de amido de milho normal e amido de milho ceroso pré-gelatinizado, obtiveram altas densidades nos snacks com ambos os amidos quanto maior foi o teor de WPC80 nas formulações e correlacionaram, negativamente, a densidade com a expansão.

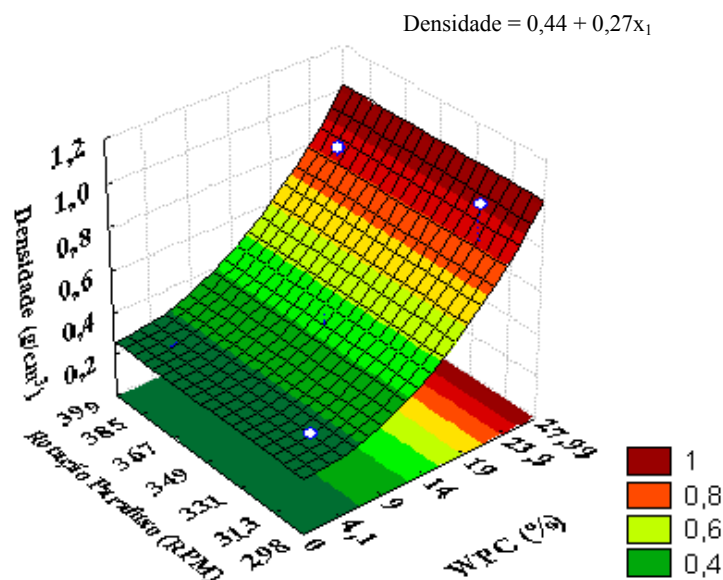


Figura 25 Efeito do WPC na densidade (IER) dos snacks de griz de milho

#### 4.4.2 Imagens dos snacks com WPC

A Figura 26 mostra os T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9 na sequência que aparecem na foto. Os tratamentos 01 (4,1% de WPC e 313 rpm) e 02 (4,1% de WPC e 385 rpm) apresentam expansão, cor e formato próximos entre si, onde a rotação da rosca parece pouco influenciar nos mesmos. A pequena porcentagem de WPC na formulação dos snacks influencia positivamente na expansão e aspecto geral dos snacks quando comparado ao tratamento padrão 05. Porém, os tratamentos 03 (23,9% WPC e 313 rpm), 04 (23,9 e 385 rpm) e 06 (28% WPC e 349rpm) apresentaram as menores expansões quando comparados aos demais tratamentos, assim como a cor mais escura, consequência da reação de Maillard. O efeito da substituição do milho pelo WPC, também, é bem

evidente no tratamento 06, pois, foi o de menor expansão e de cor mais escura. Os T07 a 11 possuem o mesmo teor de WPC, porém, rotações do parafuso variadas. O T07 (298 rpm) teve um leve aumento na expansão, sugerindo que uma rotação mais baixa pode ser benéfica, quando se extrusa milho e proteínas do soro, nos teores de umidade utilizados.

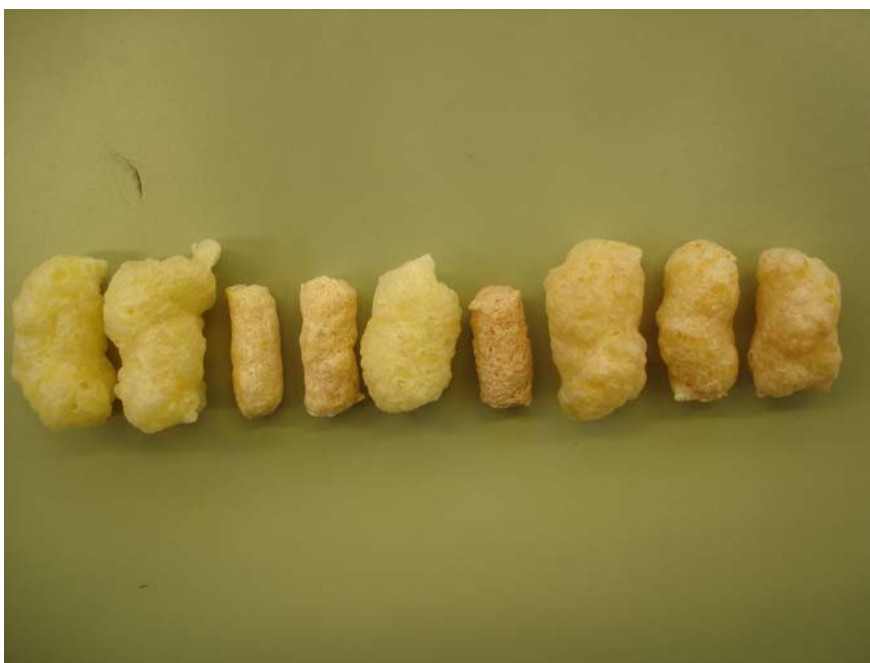


Figura 26 Os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9 dos snacks de WPC e griz de milho

#### 4.4.3 Cor da farinha dos snacks

A cor é um dos atributos mais importantes em produtos alimentícios. Em produtos extrusados ela é forte indicador do processo térmico ocorrido

durante o processo de extrusão. (ONWULATA et al., 1998). Dentre as reações que ocorrem dentro da extrusora, a principal é a reação de Maillard. Esta reação química envolve grupos livres amino de proteínas e grupos carbonila de açúcares redutores, que são comuns nos alimentos, e leva à produção de escurecimento e sabor (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007). As condições do processo de cozimento por extrusão, de alta temperatura e baixa umidade favorecem a reação de Maillard.

A análise de variância (ANOVA) da diferença de cor ( $\Delta E$ ) dos snacks se encontra na Tabela 18B do Anexo B. Apenas a variável independente WPC influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) a diferença de cor dos snacks. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,80401.

A Figura 27 mostra a influência do teor de WPC na diferença de cor dos diversos tratamentos em relação ao tratamento padrão (05).

À medida que aumenta a substituição do griz de milho pelo WPC, há um aumento gradual da diferença de cor. As proteínas do soro fornecem dois elementos que são responsáveis pelo aumento da cor, aminoácidos e açúcar (lactose). Dentre o grupo de aminoácidos disponíveis, a lisina parece ser o mais reativo. Porém, outros, também, podem participar da reação, como arginina, triptofano, cisteína e histidina (SINGH; GAMLATH; WAKELING 2007). O WPC pode apresentar um teor variado de lactose, sendo que até 8% pode estar presente em WPC80 (KINSELLA; WHITEHEAD, 1989). Além da lactose, outros açúcares podem contribuir para a reação. A hidrólise do amido, durante o processo de extrusão, pode produzir açúcares livres (como a glucose) que reagiriam com a lisina e outros grupos aminas terminais livres. Resultado semelhante foi obtido por Onwulata et al. (1998), onde snacks de milho e de arroz tiveram suas diferenças de cores aumentadas durante o processo de extrusão quando em suas formulações foram acrescentados 25% e 50% de WPC34.

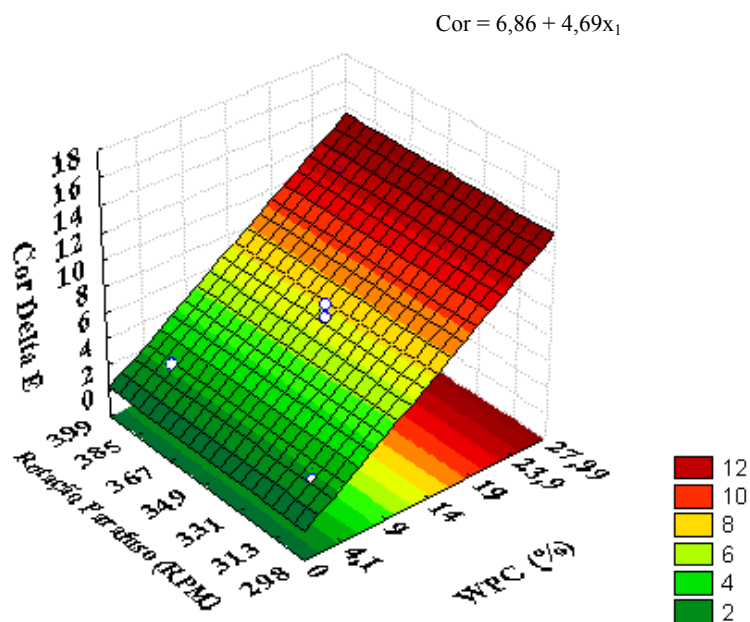


Figura 27 Efeito do WPC na diferença de cor ( $\Delta E$ ) dos pellets de griz de milho

Os valores de luminosidade (L), cromaticidade a e cromaticidade b dos snacks com WPC estão na Tabela 26.

A luminosidade (L) pode ser entendida como a claridade da cor, onde o valor 0 indica cor totalmente preta e valor 100 totalmente branca. Os valores de luminosidade dos tratamentos 1 (4,1% de WPC e 313 rpm) e 2 (4,1% e 385 rpm) foram próximos aos obtido pelo tratamento padrão 05, sugerindo que o pequeno acréscimo de WPC nestes tratamentos pouco influenciou na claridade dos mesmos. Porém, ao observar os tratamentos 3 (23,9% WPC e 313 rpm), 04 (23,9% WPC e 385 rpm) e o 06 (27,99 WPC e 349 rpm) há um decréscimo dos valores de L, indicando que o aumento do teor de WPC escurece as amostras. Os demais tratamentos que possuem o mesmo valor de WPC (14%) e rotações do parafuso variadas apresentaram valores de L relativamente próximos entre si

(exceção do tratamento 08) e, também, próximo ao tratamento padrão. Obatolu Veronica, Omueti Olusola e Adebawale (2006) obtiveram valor de 80,2 para a luminosidade de snack de milho, valor um pouco mais alto do que o encontrado neste trabalho. Vale ressaltar que, em seu trabalho, esses autores utilizaram grãos de milho (matéria-prima diferente da utilizada neste trabalho), assim como teor de umidade de extrusão mais alto e extrusor diferente ao utilizado neste trabalho.

Tabela 26 Valores médios para a Luminosidade (L), cromaticidade a e cromaticidade b dos snacks de gritz de milho e WPC dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
L*	72,1	70,6	65,9	64,9	72,3	59,4	67,3	82,9	69,9	67,6	67,2
a*	4,39	5,37	7,92	8,91	3,91	11,1	6,96	7,30	8,57	7,29	7,41
b*	31,2	29,5	26,1	26,7	30,1	23,4	28,4	29,0	27,1	29,2	29,7

T1 – 5% 60°C; T2 – 5% 90°C; T3 – 29% 60°C; T4 – 29% 90°C; T5 – 0,03% 75°C; T6 – 33,97% 75°C; T7 – 17% 53,8°C; T8 – 17% 96,2°C; T9, T10 e T11 – 17% 75°C  
\* média de 4 observações

Para a cromaticidade que mede a intensidade das cores vermelhas (valores positivos, -60) e verdes (valores negativos, + 60), obtiveram-se valores positivos para todos os tratamentos. Os snacks com maior teor de WPC (T3, T4 e T6) obtiveram os maiores valores de cromaticidade a, fato explicado pela coloração amarelo-acastanhada apresentada pelos mesmos, em virtude, provavelmente, da reação de Maillard. O tratamento padrão 05 apresentou o menor valor de cromaticidade, ou seja, menor tendência à cor vermelha. A rotação maior do parafuso da extrusora parece aumentar os valores da

cromaticidade, fenômeno observado quando se comparam os tratamentos 01 e 02, 03 e 04, 07 e 08. Os valores de cromaticidade b, que vão do amarelo (valores positivos, +60) ao azul (valores negativos, -60) de todos os tratamentos, também, foram positivos, fato justificado pelo griz de milho (matéria-prima) apresentar cor amarelada. Os T3, T4 e T6 apresentaram menor valor de cromaticidade b, provavelmente, em virtude do menor valor de griz de milho nos mesmos.

#### 4.4.4 Textura

A crocância de snacks é percebida pelo ser humano, por meio da combinação de sensações táteis, cinestésicas, visuais e audíveis que representam os atributos chave de produtos crocantes (ANTON; LUCIANO, 2007). Crocância é, também, relatada como a queda rápida da força, durante o processo de mastigação, atributo que é baseado na propagação da fratura em materiais frágeis (VINCENT, 1998). Quando a força é aplicada em materiais frágeis, ocorre ruptura da estrutura celular, gerando um típico som que contribui para a sensação de crocância (ANTON; LUCIANO, 2007). Análises instrumentais podem fornecer indicação dos atributos de textura de expandidos de cereais. O teste de punctura foi aplicado aos snacks, avaliando-se as frequências de rupturas estruturais (Nsr), força específica das rupturas estruturais (Fsr), força de punctura (F) e índice de crocância (Wc).

Para as Nsr somente houve influência significativa ( $p < 0,05$ ) da variável WPC. Sua análise de variância se encontra na Tabela 18B do Anexo B. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,7956

A Figura 28 representa as curvas de superfície de resposta da Nsr, mostrando a influência da variável WPC na mesma. Verificando que as Nsr representam o número de paredes estruturais da célula do snack, um maior



número delas é obtido nas concentrações próximas a 14% de WPC. De acordo com Ding et al. (2005), a crocância de extrusados expandidos é correlacionada à expansão e estrutura celular dos mesmos. Produtos mais expandidos possuem maior número de bolhas expandidas e, conseqüentemente, tendem a ser mais crocantes. Como o índice de expansão radial dos snacks (Figura 24) indicou que quanto maior o teor de WPC menor foi a expansão, os resultados sugerem que a interação amido-proteína nos níveis de 14% (aproximadamente) de WPC, produziu uma extrutura menos expandida, porém, com um maior número de pequenas bolhas. Allen, Carpenter e Walsh (2007) obteve menores tamanhos de células de ar e de expansão em snacks de milho à medida que se aumentou o teor de WPC80 às formulações. Outro fator que pode ter influenciado nas Nsr foi o tamanho das partículas diferentes do griz de milho e do WPC. Partículas menores das matérias-primas podem diminuir o tamanho das células de ar da estrutura. Carvalho et al. (2010) utilizando variados tamanhos de partículas de amido de milho, concluíram que tamanhos menores de partículas ocasionaram maior número de Nsr, ou seja, um maior número de bolhas de ar, porém, ligeiramente menores e mais densas. Menor frequência de rupturas em baixos valores de WPC pode ter sido ocasionada por bolhas de ar maiores, fato comprovado pelo índice de expansão dos snacks. Observa-se, também, que maiores teores de WPC provocaram uma queda nos valores de Nsr, provavelmente, ocasionado pelo colapso da estrutura das paredes celulares dos snacks. Um aumento da concentração de WPC pode ter provocado a formação de pequenas e densas bolhas, fato comprovado pelo baixo índice de expansão e, também, maior força requerida para quebrar essas estruturas

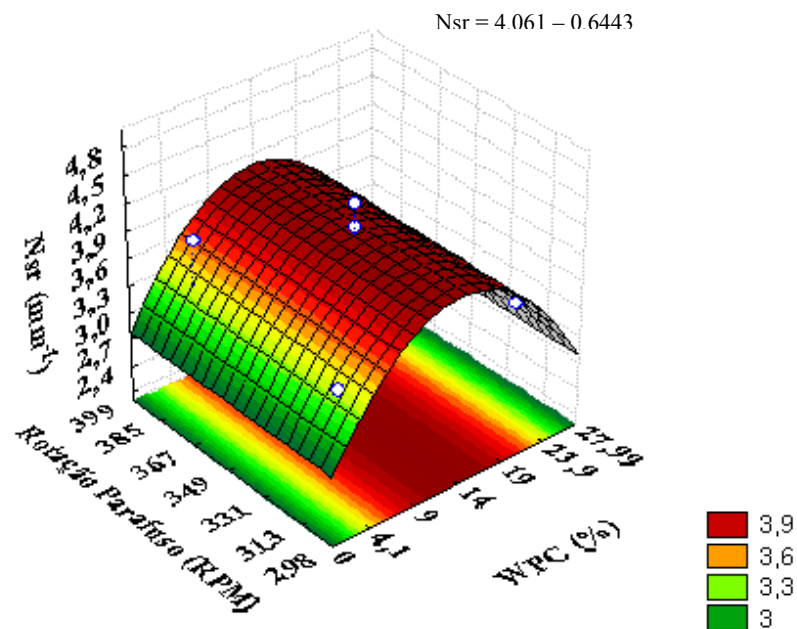


Figura 28 Efeito da variável quantitativa WPC nos valores da frequência de rupturas estruturais (Nsr) dos snacks de grits de milho

A força específica das rupturas estruturais (Fsr) foi influenciada estatisticamente ( $p < 0,05$ ) apenas pela variável WPC linear e quadrática. O seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8578.

A Figura 29 representa as curvas da superfície de resposta, mostrando a influência do teor de WPC nas Fsr.

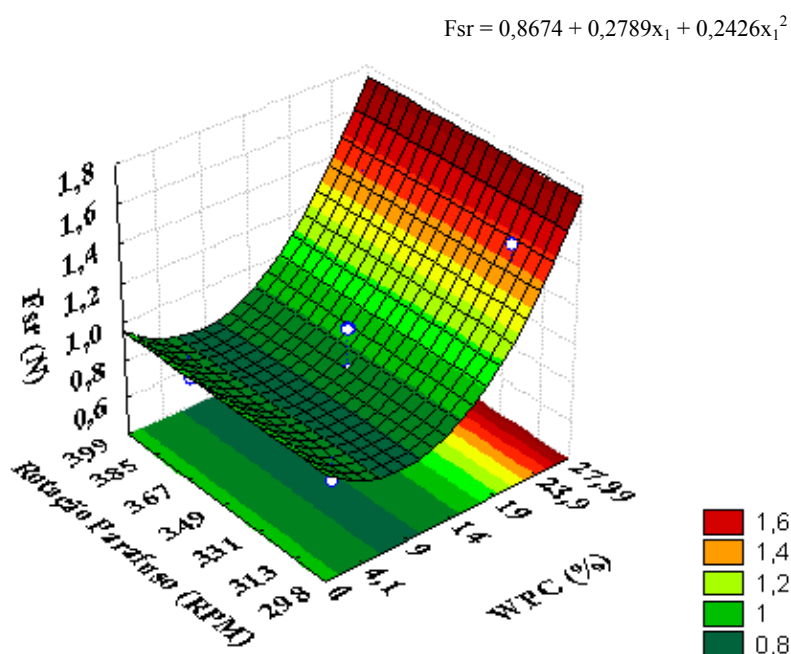


Figura 29 Efeito do variável quantitativa WPC nos valores de força específica das rupturas ( $F_{sr}$ ) dos snacks de grits de milho

Observa-se que menores concentrações de WPC produziram valores mais baixos de  $F_{sr}$ , que representa a força necessária para romper as paredes internas da estrutura dos snacks. Até certo nível, a substituição do milho pelo WPC pode ter produzido células de paredes mais finas, fáceis de serem rompidas. Porém, teores acima de 19% de WPC produziram paredes celulares mais duras e/ou mais espessas, requerendo mais força para rompê-las. Podemos associar a  $F_{sr}$  com  $N_{sr}$  e a densidade dos pellets. Altos níveis de WPC produziram snacks menos expandidos, de bolhas menores e mais densas e em menor quantidade. Resultados semelhantes ao deste trabalho foram obtidos por Matthey e Hanna (1997), onde teores de 10% de WPC80 na formulação dos snacks diminuíram a resistência ao cisalhamento quando comparado ao snack só

de amido de milho. Porém, o acréscimo de 20% e de 30% de WPC aumentou os valores de resistência ao cisalhamento. Allen, Carpenter e Walsh (2007) encontrou em snacks de milho e WPC80, maiores índices de força de quebra quando foram adicionados 32% e 40% de WPC80 à formulação dos snacks.

A força de punctura ( $F$ ), que corresponde à força necessária para penetrar a amostra, quando a agulha toca a superfície do snack, não foi influenciada significativamente ( $P \geq 0,05$ ) pelas variáveis independentes WPC e rotação do parafuso. Sua análise de variância se encontra na Tabela 19B do Anexo B. A média encontrada para os valores de  $F$  foi de 2,67 N. Apesar do aumento das concentrações de WPC ter produzido maiores valores de  $F_{sr}$ , o mesmo não ocorreu com a força de punctura ( $F$ ), onde variados teores de WPC produziram forças relativamente iguais ao tocar a amostra. Esses resultados sugerem que as interações proteína-proteína e amido-proteína, durante o processo de extrusão, produziram uma massa porosa que, ao ser expandida e resfriada, alterou o formato, tamanho e espessurada das paredes internas do snack, porém, não aumentaram a resistência da parede externa do snack. Obatolu Verônica, Omueti Olusola e Adebawale (2006), utilizando texturômetro TA-HDi (o mesmo deste trabalho), obtiveram menores valores de “brittleness” (força requerida para causar o 1º pico) a medida que o milho foi substituído por teores de até 30% de soja em snacks. Porém, maiores forças foram requeridas pelo “breaking strength” (máxima força requerida para quebrar a amostra) quando se substituiu o milho por concentrações variadas de soja.

O índice de crocância ( $W_c$ ) não foi influenciado significativamente ( $P \geq 0,05$ ) pelas variáveis teor de WPC e rotação do parafuso. Sua análise de variância se encontra na Tabela 20B do Anexo B. A média dos valores do  $W_c$  foi de  $0,842 \text{ N mm}^{-1}$ . Verificando que o índice de crocância é definido como a força de punctura dividida pela frequência de rupturas, os diversos valores acarretados para a frequência de rupturas e forças de punctura dos 11

tratamentos, ora maior ou menor por qualquer um dos dois produziram índices de crocância estatisticamente iguais.

#### 4.4.5 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

O ISA depende da quantidade de moléculas solúveis e, também, da intensidade e do tipo de reações que ocorrem durante a extrusão. Além da gelatinização do amido, que resulta na liberação da amilose e amilopectina de seus grânulos, poderá ocorrer, ainda, a dextrinização dos componentes do amido e outras reações que conduzem à formação de compostos de baixo peso molecular, que irão influenciar no ISA (GUTKOSKI, 1997; SEBIO; CHANG, 2000).

O índice de solubilidade em água (ISA) foi influenciado significativamente ( $p < 0,05$ ) pela variável WPC, porém, não houve um modelo matemático que se ajustasse bem aos dados experimentais ( $F_{tab} > F_{cal}$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 20B, do Anexo B. Os valores médios do índice de solubilidade em água se encontram na Tabela 27.

Tabela 27 Valores médios do índice de solubilidade em água dos pellets com WPC e griz de milho dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11), em função do teor de WPC e temperatura

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
ISA (%)*	21,2	26,7	18,6	18,1	30,2	19,5	23,3	19,6	23,0	21,7	21,3

T1 – 4,1% 313rpm; T2 – 4,1% 385rpm; T3 – 23,9% 313 rpm; T4 – 23,9% 349rpm;  
T5 – 0,001% 349rpm; T6 – 28% 349rpm; T7 – 14% 298rpm; T8 – 14% 399rpm;  
T9, T10 e T11 – 14% 349rpm

\* Média de 3 determinações

As diferentes concentrações de WPC resultaram em diversos valores de ISA. Mas quando se comparam os T3 e T4 (23,9% de WPC) e T6 (27,99%), que possuem os maiores valores de WPC, em relação aos demais tratamentos, observa-se uma diminuição dos valores de ISA. O tratamento padrão 05, que possui somente milho, obteve o mais alto valor de ISA. Esses comportamentos sugerem que a presença das proteínas do soro reduziu a solubilidade das farinhas. Em altas temperaturas, a desnaturação das proteínas produz  $\text{NH}_2$  terminal que, reagindo com os OH livres originados pela dextrinização do material amiláceo propiciaram a formação de complexos não solúveis (FERNANDES et al., 2002; FERREIRA, 1999; GUY, 2001). Resultados semelhantes foram obtidos por Onwulata e Konstance (2002), onde extrusados de taro tiveram seus valores de ISA reduzidos quando 25% de WPC foram acrescentados na formulação dos mesmos. Quando se comparam os valores de ISA dos snacks com os pellets (Tabela 19), observam-se maiores valores nos snacks. Isto foi decorrente da maior severidade do processo de extrusão deste último, aumentando a degradação das moléculas do amido.

O índice de absorção de água (IAA) correlaciona-se com a viscosidade da pasta a frio, pois, apenas os grânulos de amido danificados absorvem água a temperatura ambiente, resultando no aumento da viscosidade (SILVA, 2004).

O índice de absorção de água foi influenciado significativamente ( $p < 0,05$ ) apenas pela variável independente WPC. Sua análise de variância se encontra na Tabela 21B do Anexo B. O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) foi de 0,72531.

A influência do teor de WPC (%) nos valores de IAA está representada na Figura 30. Observa-se que o decréscimo de WPC aumenta linearmente os valores de IAA. Conforme discutido anteriormente, as proteínas do soro apresentam a propriedade de se ligarem fortemente à água, limitando a gelatinização do amido. Sendo assim menores teores de WPI permitem que o já

limitado teor de água da extrusão esteja disponível no meio para favorecer as condições de gelatinização. Estes resultados estão de acordo com Onwulata et al. (1998), onde snacks de milho e de arroz tiveram seus valores de IAA reduzidos ao se introduzirem blends com 25% e 50% de WPC nas formulações.

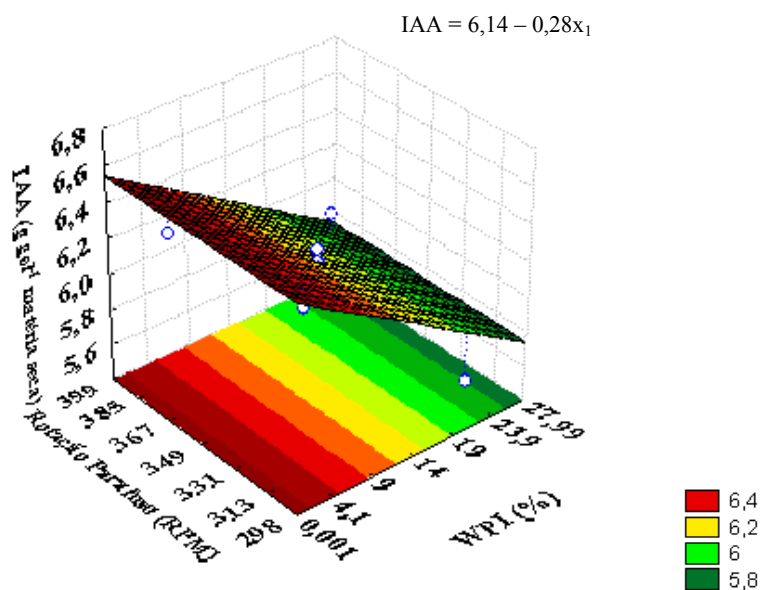


Figura 30 Efeito do WPC no índice de absorção de água(IAA) dos snacks de griz de milho

#### 4.4.6 Viscosidade de pasta

Os gráficos da viscosidade aparente de pasta, obtidos por RVA (Rapid Visco Analyser), estão representados pelas Figuras 31 e 32. As viscosidades a frio dos tratamentos se situaram entre 896 cP e 6713,5 cP. Pode-se observar que as maiores viscosidades a frio foram dos T3 (23,4% WPC e 313 rpm), T4 (23,4 %WPC e 385rpm) e T6 (28%WPC e 349rpm), que possuem os maiores

concentrações de WPC. Esse comportamento pode ser atribuído à formação de géis pelas proteínas, causando um aumento da viscosidade a frio. Pode-se visualizar bem isto, quando se compara o T5 com os demais. O tratamento só de milho (05) apresentou a menor viscosidade dentre todos, pois, durante o processo de extrusão, a temperatura (aproximadamente 130°C) e o cisalhamento do parafuso destruíram a estrutura cristalina do amido de tal forma, que culminou em baixos valores de viscosidade. Os demais tratamentos, que possuem WPI, apresentaram maiores viscosidades conforme discutido antes. O aquecimento das pastas a 95°C trouxe baixos valores de viscosidade máxima, onde os valores se situaram entre 111 cP a 805,5 cP. Os valores da viscosidade máxima utilizados neste trabalho foram aqueles obtidos no final da rampa de aquecimento e podem ser lidos no tempo de 7 minutos. Os tratamentos 03, 04 e 06 apresentaram as maiores viscosidades máximas a 95°C, pois, as proteínas presentes nestes tratamentos formaram géis ao serem reaquecidas (primeiro aquecimento feito durante a extrusão), aumentando os valores de viscosidade máxima no aquecimento. Os demais tratamentos apresentaram menores viscosidades, fato creditado à grande gelatinização do amido durante a extrusão e menores níveis de WPI, que resultaram em quantidades limitadas de géis. As viscosidades finais, que representam a tendência à retrogradação das pastas de amido, foram maiores nos tratamentos que possuem os maiores níveis de WPI, em virtude do aumento da elasticidade dos géis da proteína.



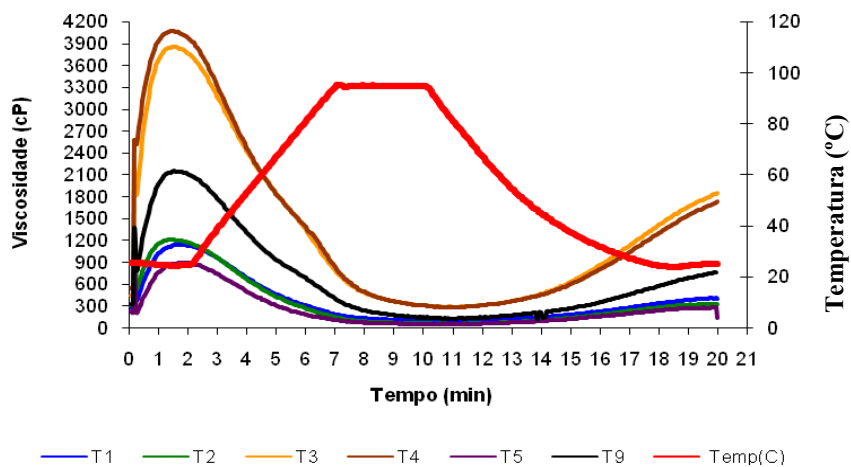


Figura 31 Representação gráfica da viscosidade de pasta aparente dos tratamentos 1,2,3,4,5 e 9 dos snacks de griz de milho e WPC

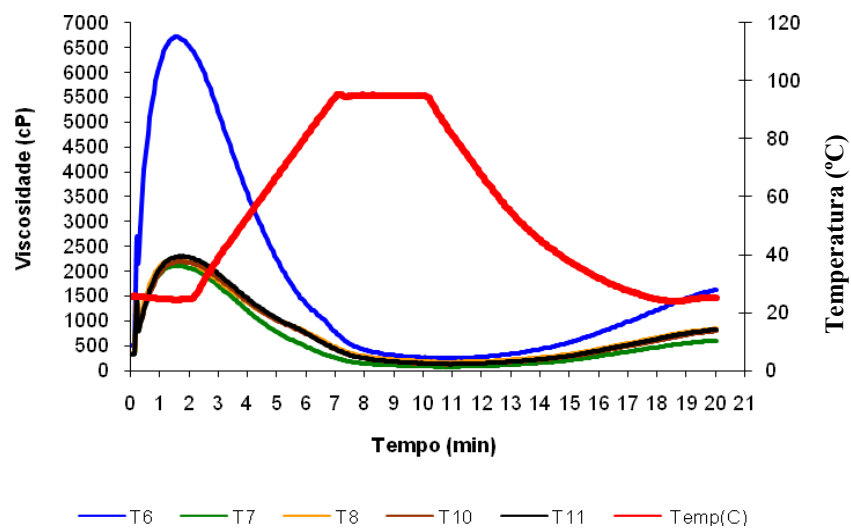


Figura 32 Representação gráfica da viscosidade de pasta aparente dos tratamentos 6,7,8,10 e 11 dos snacks de griz de milho e WPC

A viscosidade a frio ou viscosidade de pasta a 25°C indica a capacidade das farinhas de absorver água à temperatura ambiente e formar uma pasta, gel ou líquido viscoso como resultado da gelatinização do amido durante o processo de extrusão (BOUVIER, 2001; CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). A viscosidade a frio (25°C) dos 11 tratamentos foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) apenas pela variável independente WPC. Sua análise de variância se encontra na Tabela 21B, do Anexo B. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado foi de 0,75531.

A Figura 33 representa as curvas da superfície de resposta para a variável viscosidade a frio.

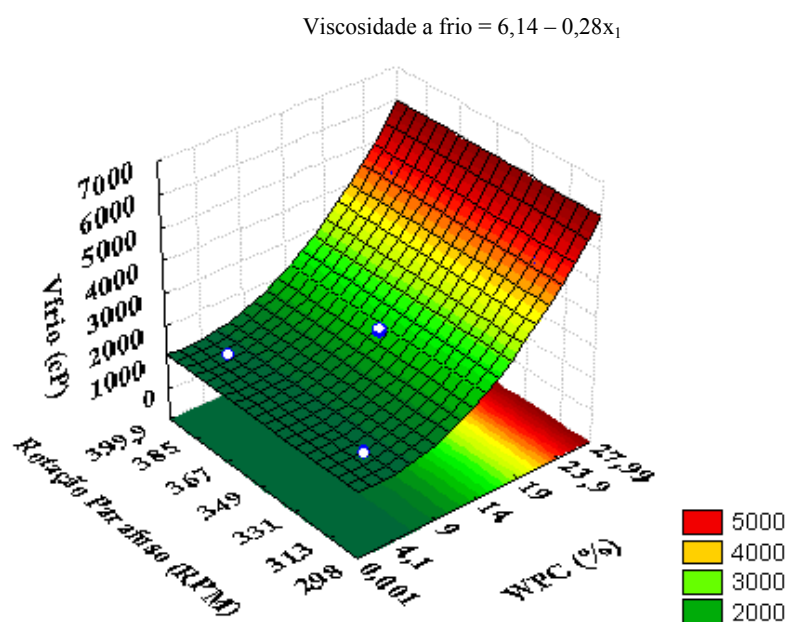


Figura 33 Efeito da variável quantitativa WPC na viscosidade a frio dos pellets de griz de milho

Observa-se que à medida que aumentam os teores de WPC, os valores de viscosidade a frio, também, aumentam. Durante o processo de extrusão dos snacks, o parafuso do extrusor que conduz o material em direção à matriz, revira e pressiona o material contra as paredes do cilindro e, juntamente com a ação do calor, promovem o cisalhamento e a transformação do material em uma massa uniforme. Como se deseja maior expansão final, condições severas de processamento são aplicadas a fim de se obter maior gelatinização final. Sendo assim, maiores viscosidades a frio ocorrem em pastas de snacks ou expandidos diretos. Segundo Duarte, Carvalho e Ascheri (2009), um alto valor de viscosidade a frio pode indicar que a fração do amido foi convertida de tal forma que os grupos hidroxila da superfície do amido cisalhado foram expostos, possibilitando o amido absorver mais água quando comparado ao amido nativo.

Com a substituição do griz de milho pelo WPC, seria de se esperar menores viscosidades a frio em virtude de menor quantidade de material amiláceo. Porém, as proteínas do soro apresentam propriedades de formar gel quando as condições do meio são favoráveis. Segundo Fox e Mcsweeney (2003), por meio de interações sulfidril-dissulfídicas e hidrofóbicas, as proteínas desdobradas (pela ação do calor e, provavelmente, pelo cisalhamento) podem se associar uma com a outra para formar agregados. Esses agregados sob determinadas condições podem formar géis. Em virtude da limitada umidade de extrusão (12%), não houve formação de gel, durante o processamento, mas em excesso de água durante as análises de viscosidade, maior foi a quantidade de gel formada quanto maior foi a quantidade de WPI presente no tratamento.

Segundo Carvalho, Aschery e Cal-Vidal (2002), a viscosidade máxima mede a resistência do grânulo de amido ao colapso da ação da temperatura e do atrito mecânico, promovido durante a determinação de viscosidade de pasta pela RVA

A viscosidade máxima a 95°C foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) pela variável WPC e sua análise de variância se encontra na Tabela 22B do Anexo B. A Figura 34 representa a superfície de resposta da viscosidade máxima.

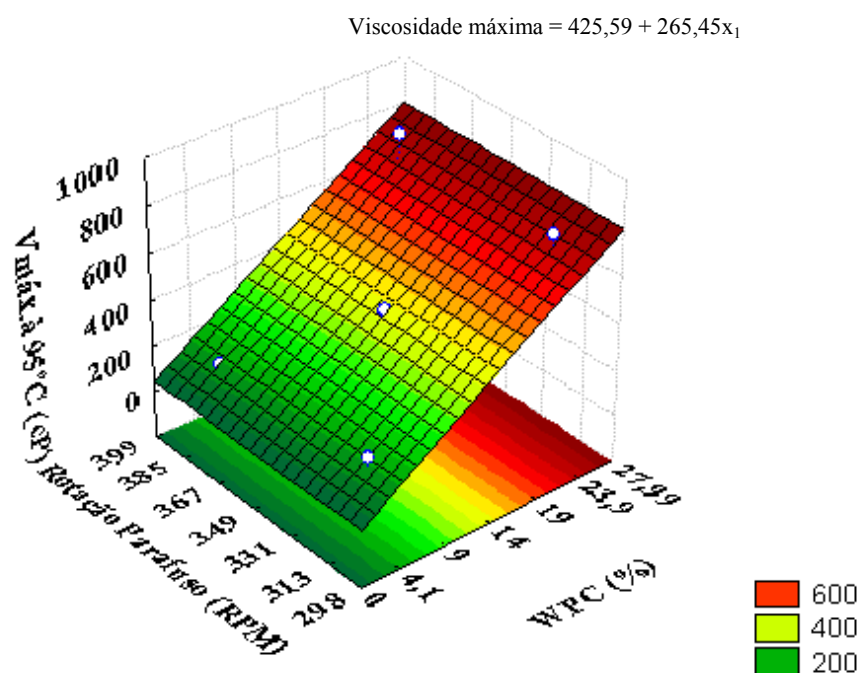


Figura 34 Efeito da variável quantitativa WPC na viscosidade máxima a 95°C dos pellets de griz de milho.

Ao observar a representação gráfica da viscosidade máxima (Figura 34), o aumento gradativo nos níveis de WPI, também, provocou um aumento linear da viscosidade máxima. Em virtude das condições mais severas na extrusão dos snacks, maior destruição da estrutura cristalina do amido ocorreu, ocasionando baixas viscosidades durante o ciclo de aquecimento a 95°C do RVA. Apesar do efeito diluidor da substituição do milho pelo WPI, o que ocasionaria uma menor viscosidade, o aumento das viscosidades máximas ocorreu pela nova formação

de géis durante o aquecimento das pastas. A ativação térmica das moléculas de proteína expõe sites interativos envolvendo pequenas alterações na conformação molecular global. Quando as concentrações de proteínas são adequadas e a taxa de aquecimento lenta, as interações proteína-proteína juntamente com a água levam à formação de uma rede tridimensional (KINSELLA; WHITEHEAD, 1989).

Para a viscosidade mínima a 95°C, apenas a variável independente WPC influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) e a análise de variância se encontra na Tabela 22B do Anexo B. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,82153.

O gráfico tridimensional de superfície de resposta (Figura 35) representa o efeito da variável WPI na viscosidade mínima a 95°C.

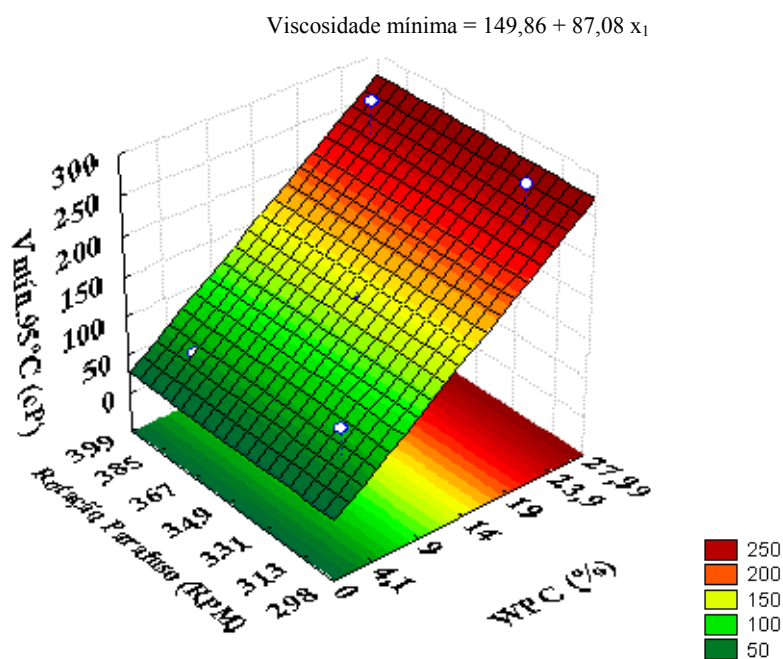


Figura 35 Efeito da variável quantitativa WPC na viscosidade mínima dos pellets de griz de milho

Verificando que a viscosidade mínima ocorre, quando a ruptura dos grânulos atinge seu valor máximo, observa-se um aumento nos valores de viscosidade mínima com o aumento dos valores de WPC. O cisalhamento e tratamento térmico ocorridos na extrusão e nas condições de excesso de água e agitação do aparelho RVA favoreceram a formação de gel pelas proteínas do soro, explicando o aumento dos valores de viscosidade mínima.

O “breakdown” ou quebra da viscosidade foi influenciado significativamente ( $p < 0,05$ ) apenas pelo teor de WPC. Seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,92413 e sua análise de variância se encontra na Tabela 23B do Anexo B. A Figura 36 mostra a influência do WPC nos valores de Breakdown.

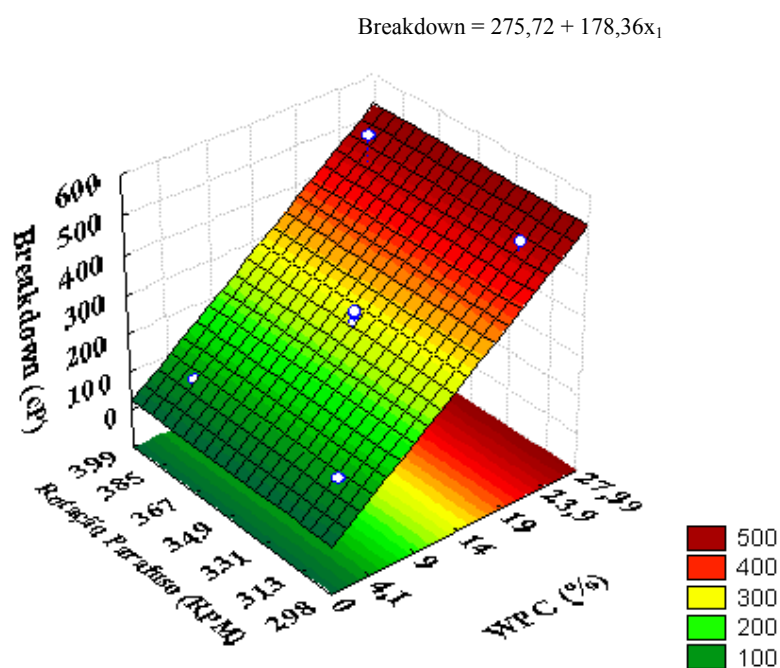


Figura 36 Efeito da variável quantitativa WPC no breakckdown dos pellets de grizt de milho

Observa-se que o aumento do breackdown foi ocasionado pelo aumento dos níveis de WPC. Este parâmetro representa a diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima, e ambos foram influenciados positivamente pelo aumento dos teores de WPI, o resultado foi coerente, pois, os crescentes aumentos de viscosidade “breackdown” foram ocasionados pela formação de gel nos crescentes valores de WPC

O setback que representa a tendência do amido à retrogradação foi influenciado significativamente ( $p < 0,05$ ) apenas pela variável WPC e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,78103. A Figura 37 representa a superfície de resposta do setback.

De acordo com a Figura 37 observamos que a viscosidade Setback foi positivamente influenciada pelos teores de WPC. Isto pode ser explicado pelo aumento da elasticidade dos géis durante a fase de resfriamento pelo aparelho RVA. Aguilera e Rojas (1996), utilizando reômetro para monitorar a cinética da formação de géis de mandioca e WPI, verificaram aumento do módulo de armazenagem ( $G'$ ) durante o resfriamento do gel. Segundo Beveridge, Jones e Tung (1984), a queda da temperatura favorece a formação de várias ligações de hidrogênio, resultando num aumento de elasticidade do gel.

Ju e Kilara (1998) em seu trabalho científico, aqueceram a 80°C, soluções de proteínas do soro (8% em peso de proteínas) por variados tempos (2-30 minutos) e verificaram que houve aumento gradual do tamanho e concentração dos agregados, que levaram a aumento da firmeza dos géis quando estes foram resfriados.

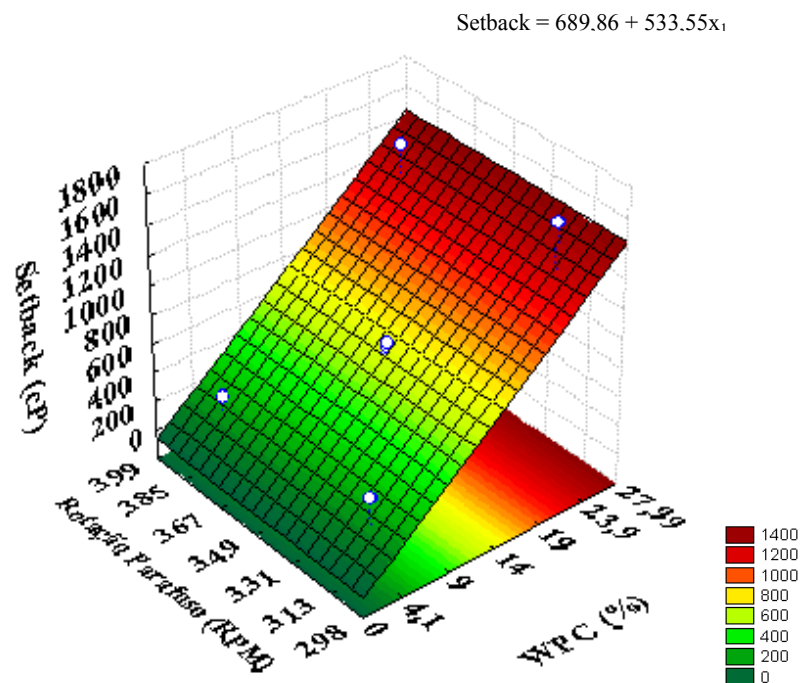


Figura 37 Efeito da variável quantitativa WPC no Setback dos pellets de griz de milho

#### 4.4.7 Composição centesimal e valor calórico

A análise de alimentos é uma área muito importante no ensino da engenharia de alimentos, pois, ela atua em vários segmentos do controle de qualidade, da fabricação e da estocagem do alimento processado. Nas indústrias, os fabricantes de alimentos realizam um controle rígido de qualidade, tanto na matéria-prima quanto no produto final. O produto final processado deve possuir qualidade e uniformidade antes de ser colocado no mercado (CECCHI, 2003).



As análises de alimentos, destacando-se a composição centesimal permite que as indústrias de alimentos invistam em pesquisas de novos produtos e no melhoramento de produtos já existentes.

Os snacks escolhidos para a determinação de sua composição centesimal foram os mesmos avaliados na análise sensorial. A Tabela 28 mostra os resultados em base integral da composição centesimal e valor calórico dos snacks de gritz de milho com WPC.

Tabela 28 Composição centesimal média e valor calórico dos snacks de WPC e de gritz milho em base integral

Composição (g 100g <sup>-1</sup> ) *	T1	T2	T4	T5	T7	T12
Umidade	10,76	9,86	10,11	10,24	10,22	10,25
Extrato etéreo	0,11	0,057	0,039	0,009	0,206	0,027
Proteína	10,87	10,81	23,28	7,53	16,43	16,49
Cinzas	0,264	0,514	0,908	0,362	0,646	0,73
Fibra alimentar	1,66	nd	nd	2,52	nd	3,49
Carboidrato	76,33	nd	nd	79,34	nd	69,01
Valor Calórico	349,79	nd	nd	348,27	nd	342,25

\* Média de 3 observações nd - não determinado

Os snacks, assim como outros produtos extrusados como cereais matinais, wafers e biscoitos possuem textura crocante, sendo este fator um dos

apelos para o consumo dos mesmos. Por isto, devem ter teores relativamente baixos de umidade e devem ser estocados de forma a conservarem suas propriedades físicas. Se o teor de umidade destes produtos aumenta, em decorrência da sorção da água atmosférica, ou pelo transporte de massa considerando componentes vizinhos ou fases, a perda da crocância é observada (ROUDAUT et al., 2002). Os valores de umidade dos snacks foram próximos entre si, apresentando diferença menor que 1% entre todos os tratamentos analisados. As condições iguais de extrusão, secagem e armazenamento produziram teores de umidade próximos entre os snacks.

Os teores de extrato etéreo para os snacks foram baixos e variaram entre 0,057 a 0,206 g 100g<sup>-1</sup>. Quando se comparam os teores obtidos aqui e os provenientes das matérias-primas (Tabela 11), observa-se decréscimo dos valores de extrato etéreo nos produtos. Essa redução nos valores pode ter sido provocada pela interação lipídeo-amilose, que poderia resultar na alteração dos valores de extrato etéreo nos produtos finais. De acordo com Morrison (1988), cereais podem conter 1 % de lipídios e são classificados em três grupos: lipídeos não-amiláceos, lipídeos nas superfícies granulares e lipídeos internos. Lipídeos monoacyl ocorrem em todas as três categorias e podem formar complexos com a amilose Becker, Hill e Mitchell (2001) extrusando grits de milho contendo 1% de lipídeos totais, identificado em análise de difração de raio-x, a formação de complexos amilose-lipídeos

Para os teores de proteínas, observa-se que o acréscimo de WPC na formulação dos snacks aumentou os valores de proteínas dos mesmos. Os T1 e T2 (4,1% de WPC) tiveram seus valores de proteína aumentados em 43% quando comparados ao padrão (T5). Os demais tratamentos apresentaram aumentos de proteína em mais de 115%. Segundo o regulamento técnico referente à informação nutricional complementar (Portaria nº 27), o alimento pode ser considerado fonte de proteína quando apresenta 10% da IDR de

referência por 100g de sólido, já com o dobro desse conteúdo pode ser tratado como alimento com alto teor de proteína (BRASIL, 1998). Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (2004), a IDR diária de proteína para crianças é de 13 g 100g<sup>-1</sup> para crianças de 1 a 3 anos e de 50g 100g<sup>-1</sup> para adultos. Sendo assim, todos os tratamentos podem ser considerados altas fontes de proteína para crianças e os tratamentos enriquecidos com WPC podem ser, também, considerados altamente proteicos para adultos.

Os snacks apresentaram valores de cinzas variados, onde os T4, T7 e T12 (que possuem maiores teores de WPC), tiveram seus valores de minerais aumentados. Isto pode ser creditado ao maior teor de cinza do WPC (2,50%) quando comparado ao griz de milho (0,59%).

Os valores de fibra alimentar dos snacks dos tratamentos T1, T5 e T12 variaram de 1,66% a 3,49%. Essa variação pode ser decorrente do próprio processo de extrusão e das formulações, já que nenhuma fonte de fibra foi adicionada. O processo de extrusão fornece energia mecânica e térmica para gelatinizar o amido e posterior resfriamento dos snacks e consequente retrogradação do amido podem contribuir para a formação de amido resistente, que levam ao aumento da fibra alimentar total. Além disso, as interações proteína-proteína e amido-proteína, também, podem levar a alterações nos valores de composição centesimal dos snacks de uma forma geral. Os teores de carboidratos dos três tratamentos analisados apresentaram diferenças nos seus valores, principalmente, em virtude da maior variação do teor de proteína entre eles. O Tratamento 12 apresentou menor valor calórico, quando comparado aos demais, pois, possui maior valor proteico e baixo valor calórico. Moreira (2010) encontrou valores de carboidratos de 85,48 g 100 g<sup>-1</sup> para snacks de arroz e soja e 71,92 g 100 g<sup>-1</sup> para snacks de arroz, soja e 20% de gergelim. As diferenças nos valores podem ser creditadas a diferentes matérias-primas utilizadas. Os valores calóricos dos três tratamentos avaliados foram próximos entre si, onde

apenas o tratamento 12 obteve pequena redução, em razão de seu maior valor proteico. Os resultados obtidos enquadram os snacks como produtos de altos valores calóricos. Porém, quando se comparam estes valores obtidos aos dos pellets com WPC (Tabela 17), observa-se um valor calórico bem menor dos snacks, o que pode ser mais interessante aos consumidores.

#### **4.4.8 Aminoácidos**

As proteínas são consideradas completas e incompletas de acordo com os aminoácidos que possuem. As completas ou equilibradas são principalmente as de origem animal (carne, peixes, ovos, leite e queijos) que correspondem àquelas que contêm um perfil, qualitativo e quantitativo, adequado de aminoácidos. As incompletas são as que apresentam deficiências em um ou mais dos aminoácidos essenciais; esse aminoácido que está em falta ou em quantidade insuficiente na proteína é conhecido como fator limitante. As proteínas de origem vegetal, como de cereais (trigo, arroz, milho), e leguminosas (feijões), e folhas pertencem à essa categoria. A Tabela 29 mostra os aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> de amostra e em g 100g<sup>-1</sup> de proteína na matéria seca dos snacks de griz de milho e WPC.

Os tratamentos 01 (4,1% e 313 rpm) e 02 (4,1% e 385rpm) que possuem o mesmo teor de WPC e rotações diferentes do parafuso, durante a extrusão, apresentaram perfil de aminoácidos próximos entre si, com ligeiros aumentos de todos aminoácidos para o tratamento 02. Isto pode ter sido decorrente do aumento de velocidade de rotação do parafuso, que provocou menor tempo de residência do referido tratamento dentro do extrusor, provocando menos perdas de aminoácidos em função do calor e cisalhamento. O mesmo pode ter ocorrido entre os tratamento T7 (14% e 298 rpm) e T12 (14% e 349 rpm), onde este último obteve ligeiras reduções do seu teor de aminoácidos. Apesar do pequeno

acrécimo de WPC nas formulações dos tratamentos 01 e 02, observa-se um aumento geral de todos os aminoácidos em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de amostra quando comparado ao tratamento padrão 05, especialmente do aminoácido essencial lisina, que é limitante nos cereais. O maior teor presente de WPC nos tratamentos 07 e 12, refletiu no perfil aminoacídico dos mesmos, onde estes apresentaram os maiores valores em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de produto entre todos os tratamentos

Embora os níveis de WPC adicionados às formulações dos snacks tenham aumentado os teores de aminoácidos de todos os tratamentos, nenhum deles conseguiu atingir o padrão Food and Agriculture Organization - FAO (1990) para crianças de 3 a 5 anos de idade. Porém, para alguns aminoácidos, determinados tratamentos chegaram perto do recomendado pela FAO. A histidina obteve seus maiores valores nos tratamentos 01, 02 e 05, onde eles atingiram pelo menos 67% do recomendado pela FAO. Os tratamentos T7 e T8 chegaram ao índice de 79% do recomendado para a isoleucina. A leucina, também, obteve bons resultados, com valores acima de 80% para os padrões recomendados. Embora os teores de lisina de todos os tratamentos tenham ficado bem abaixo do recomendado, os tratamentos fortificados com WPC, obtiveram mais de 110% de teor deste aminoácido comparado ao snack só de milho. O tratamento 05 foi o que obteve melhor resultado para os aminoácidos fenilalanina e tirosina, considerando os valores em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de proteína, metodologia utilizada pela FAO (1990) para se avaliar a qualidade e quantidade aminoacídica dos alimentos. Para os aminoácidos valina e treonina, os tratamentos 07 e 12 foram os que apresentaram valores mais próximos ao recomendado atingindo mais de 73%. Para os aminoácidos não-essenciais asparagina e serina, todos os tratamentos com WPC foram superiores em relação ao tratamento padrão em  $\text{g } 100\text{g}^{-1}$  de proteína, e os demais aminoácidos não-essenciais foram iguais ou ficaram abaixo do tratamento padrão.

Tabela 29 Aminoácidos presentes nos tratamentos dos snacks de griz de milho e WPC

Aminoáci dos <sup>1</sup>	T1		T2		T4		T5		T7		T12		FAO*
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	3
Histidina	0,1	1,3	0,2	1,4	0,2	0,9	0,1	1,5	0,2	1,1	0,2	1,1	1,9
Isoleucina	0,2	1,7	0,2	1,9	0,5	1,9	0,1	1,5	0,4	2,2	0,4	2,2	2,8
Leucina	0,6	5,4	0,7	6,0	1,1	4,1	0,5	6,2	0,9	5,3	0,9	5,3	6,6
Lisina	0,2	1,4	0,2	1,6	0,5	1,9	0,1	0,6	0,4	2,3	0,4	2,3	5,8
Fenilal. e tirosina	0,4	3,8	0,5	4,0	0,8	3,0	0,4	4,9	0,7	3,9	0,7	4,0	6,3
Valina	0,3	2,3	0,3	2,5	0,5	2,1	0,2	2,3	0,5	2,6	0,5	2,5	3,5
Treonina	0,2	2,0	0,2	2,3	0,6	2,5	0,1	1,5	0,5	2,7	0,5	2,7	3,4
Metionina e cisteína	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,5
Triptofano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,1
Asparag.	0,4	3,1	0,4	3,5	0,9	3,3	0,2	2,6	0,7	4,1	0,7	4,1	---
Serina	0,3	2,2	0,3	2,5	0,5	2,1	0,2	2,4	0,4	2,4	0,4	2,4	---
Glutamina	0,1	1,3	1,1	9,4	1,6	6,4	0,8	9,7	1,5	8,5	1,5	8,4	---
Glicina	0,1	1,3	0,2	1,4	0,2	0,9	0,1	1,5	0,2	1,1	0,2	1,1	---
Arginina	0,2	1,8	0,2	1,9	0,4	1,4	0,2	2,0	0,3	1,6	0,3	1,5	---
Alanina	0,4	3,0	0,4	3,3	0,5	2,1	0,3	3,6	0,5	2,8	0,5	2,8	---
Prolina	0,5	3,9	0,5	4,3	0,7	2,7	0,4	4,9	0,7	3,7	0,7	3,7	---
Aminoáad. totais	4,2	34	5,5	46	9,1	35	3,8	45	8,1	44	8,1	44	---

\*FAO (1990) – recomendado para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos

<sup>1</sup> – média de 2 observações2 – aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> de amostra3 – aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> de proteína

nd – não foi possível determinar

#### **4.5 Caracterização dos snacks com isolado proteico de soro lácteo (WPI)**

As análises de índice de expansão radial, densidade, cor, textura, ISA, IAA, viscosidade de pasta, composição centesimal e aminoácidos dos snacks com WPC serão descritos a seguir.

##### **4.5.1 Índice de expansão radial e densidade**

O índice de expansão radial foi influenciado significativamente ( $p < 0,05$ ) pelas variáveis independentes WPI e rotação do parafuso. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,94773. A análise de variância se encontra na Tabela 24B do Anexo B.

A Figura 38 mostra a influência do teor de WPI e da rotação do parafuso no índice de expansão radial dos snacks de griz de milho. Pode-se observar que baixos valores de WPI, resultam nos maiores IER, assim como as rotações mais altas ou as mais baixas influenciam, positivamente, a variável dependente estudada.

A expansão de extrusados é uma consequência de muitos eventos que incluem parâmetros materiais (composição, estrutura molecular e interações entre os componentes) e parâmetros operacionais (temperatura, velocidade do parafuso, geometria do parafuso, energia mecânica, geometria final e incorporação de ar) (MORARU; KOKINI, 2003). A gelatinização do amido é a propriedade funcional que está diretamente relacionada com as propriedades físicas dos produtos extrusados (GHIASI; HOSENEY; VARRIANO-MARSTON, 1983), ou seja, o amido é o componente principal na expansão dos extrusados. A presença da proteína forma interações com o amido inibindo a degradação do mesmo dentro da extrusora (MATTHEY; HANNA, 1997). Para uma máxima estabilização do material fundido, a degradação do grânulo deve

continuar além da gelatinização, caminhando para a dextrinização. Porém, severa dextrinização tem efeito prejudicial na taxa de expansão (CHINNASWAMY; HANNA, 1998). As moléculas de tamanhos intermediários formados, durante a dextrinização do amido, seriam as responsáveis pela estabilização dos extrusados (GOMEZ; AGUILERA, 1983). A não dextrinização do amido levaria a uma expansão baixa.

$$\text{IER} = 8,48 - 3,58x_1 + 2,73x_2^2$$

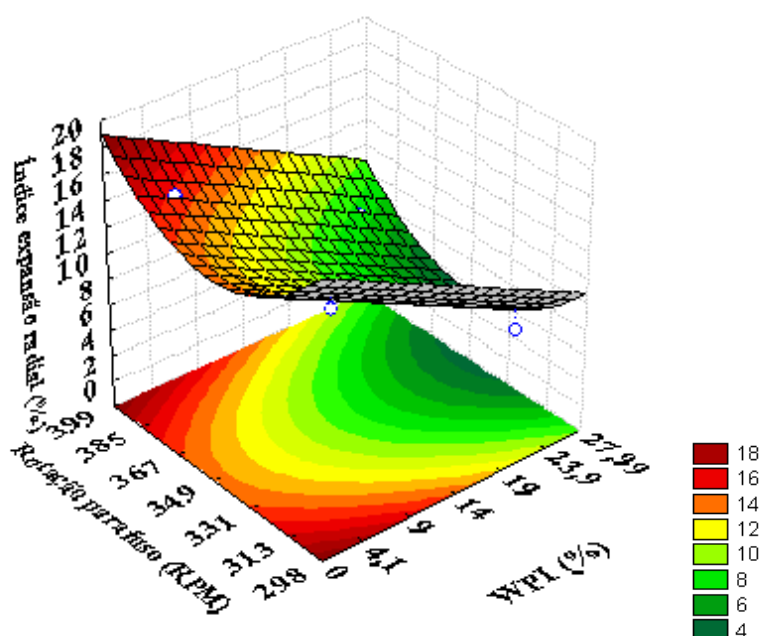


Figura 38 Efeito da variável quantitativa WPI no índice de expansão radial (IER) dos pellets de griz de milho

A interação amido-proteína poderia, também, produzir um efeito de massa, onde uma substância é aprisionada e carregada pela outra (no caso, a proteína na matriz amilácea), prejudicando a expansão dos extrusados. Pode-se



observar, também, que nas mínimas e máximas rotações há um aumento nos IER. Baixas rotações podem não ter provocado cisalhamento suficiente nas proteínas, impedindo-as de se ligarem uma a outra. Por meio de interações sulfidril-dissulfídicas e interações hidrofóbicas, uma proteína pode se ligar a outra e, dependendo das condições, formarem agregados que podem causar efeito negativo sobre a expansão. Uma maior rotação produziria maior cisalhamento, favorecendo a gelatinização de moléculas de amido que não formaram interações com as proteínas. A densidade é uma importante característica física dos produtos extrudados expandidos, sendo inversamente proporcional ao índice de expansão (SINGH; SEKHON; SINGH, 2007). Para a densidade dos snacks, o teor de WPI e a rotação do parafuso influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 24B, do Anexo B. Seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,94377.

A Figura 39 representa as curvas de superfície de resposta para a densidade dos snacks com WPC.

Pode-se observar que maiores teores de WPI produziram maiores densidades nos snacks, assim como rotações intermediárias do parafuso, também, produzem snacks mais densos. A substituição do amido do gritz de milho pelo WPI confere um efeito diluidor do material, onde as proteínas não fornecem material viscoso, afetando as propriedades reológicas do produto extrusado. De acordo com Ascheri (2007), as propriedades do amido fundido é a principal responsável pela expansão dos extrusados, onde a expansão longitudinal e diametral é dependente da viscosidade e da elasticidade deste material. Recentemente, Della Valle et al. (1997) relataram que a temperatura de transição *in vitro* para a formação das bolhas de ar enfraquece com a diminuição do conteúdo de amilose. Outro fator que influenciou no aumento da densidade foi a formação de complexo amido-proteína, já que a proteína limita a gelatinização do amido, contribuindo, também, para o aumento de peso do

extrusado. Ascheri (2007) relatou que os expandidos diretos devem ter entre 0,04 a 0,38 g cm<sup>-3</sup> de densidade, e o ar deve ocupar 85 a 92% do seu volume total. Observa-se, neste trabalho, que a densidade varou de 0,2 g cm<sup>-3</sup> na presença de maiores concentrações de griz de milho e chegou a valores de 0,9 g cm<sup>-3</sup> nas maiores concentrações de WPC.

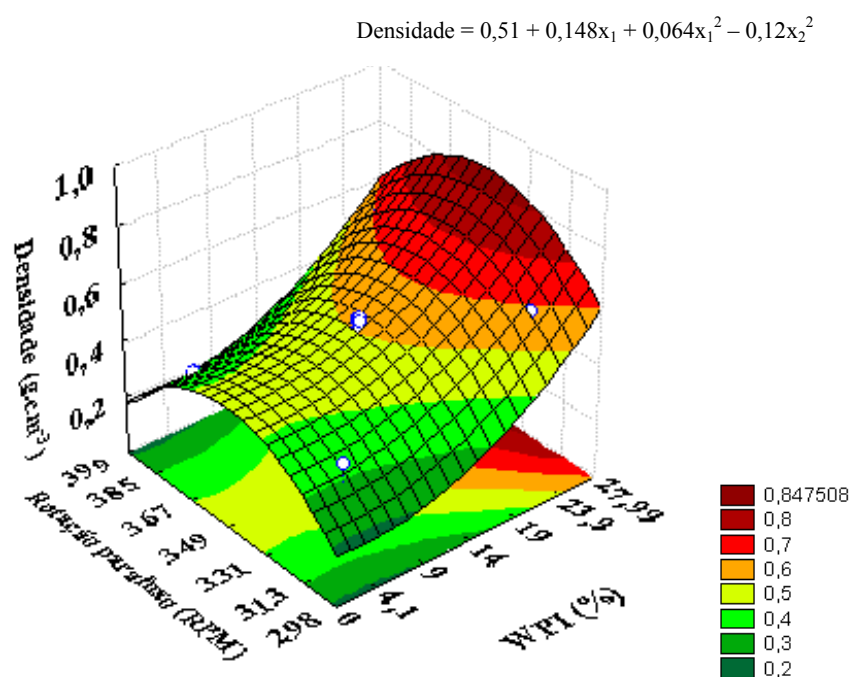


Figura 39 Efeito da variável quantitativa WPI nos valores de densidade dos snacks de griz de milho

#### 4.5.2 Imagens dos snacks com WPI

A Figura 40 ilustra os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9 na sequência em que aparecem.



Figura 40 Os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 e T9 dos snacks de WPI e gritz de milho

Observa-se que os tratamentos, que possuem maiores concentrações de WPI, apresentaram menores expansões e cores mais escuras. Os tratamentos T1 (4,1% WPI e 313 rpm) e T2 (4,1% e 385 rpm), apresentaram cores próximas, porém, o T2 que possui maior rotação do parafuso, expandiu-se mais. Efeito semelhante parece ter ocorrido nos tratamentos T3 (23,9 WPI e 313 rpm) e T4 (23,9% WPI e 385 rpm), onde se verificou um efeito positivo da rotação do parafuso sobre o T4. Porém, a cor escura, consequência da presença das proteínas do soro foi efeito negativo para ambos os tratamentos. O tratamento padrão foi o que apresentou cor mais clara, amarelada, típica de extrusados de milho, mas não foi o mais expandido. O T2 parece ser o mais expandido, seguido do T1 e T8. O T6 (28% de WPI e 349 rpm) foi o de menor expansão,

consequência do maior teor de WPI. Ao comparar os tratamentos T7 (14% e 298 rpm), T8 (14% e 399 rpm) e T9 (14% e 349 rpm), observa-se que maior rotação do parafuso no T8 causou ligeiro aumento da sua expansão.

#### **4.5.3 Cor dos snacks**

A cor é um importante fator de qualidade diretamente relacionado à aceitabilidade de produtos alimentícios e é uma importante propriedade física apresentada por produtos extrusados (ALTAN; MCCARTHY; MASKAN, 2009). Ela, também, é um indicador dos parâmetros de extrusão e da intensidade da reação de Maillard (CHANG et al., 2001). Esta reação ocorre na presença de açúcares redutores e aminoácidos. Além de escurecimento e produção de flavour em produtos extrusados, a reação de Maillard leva à perda de aminoácidos, principalmente, a lisina. Alguns fatores favorecem esta reação durante a extrusão, sendo os principais: altas temperaturas, baixos teores de umidade, configuração do parafuso (cisalhamento), tamanho do diâmetro da matriz, produção de açúcares livres, provenientes da hidrólise do amido, entre outros (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007).

A variável diferença de cor dos tratamentos, em relação ao tratamento padrão, foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) apenas pela variável WPI. Sua análise de variância se encontra na Tabela 25B do Anexo B. Seu coeficiente de determinação foi de 0,97559.

A Figura 36 mostra a influência das concentrações de WPI na diferença de cor dos snacks de grits de milho.

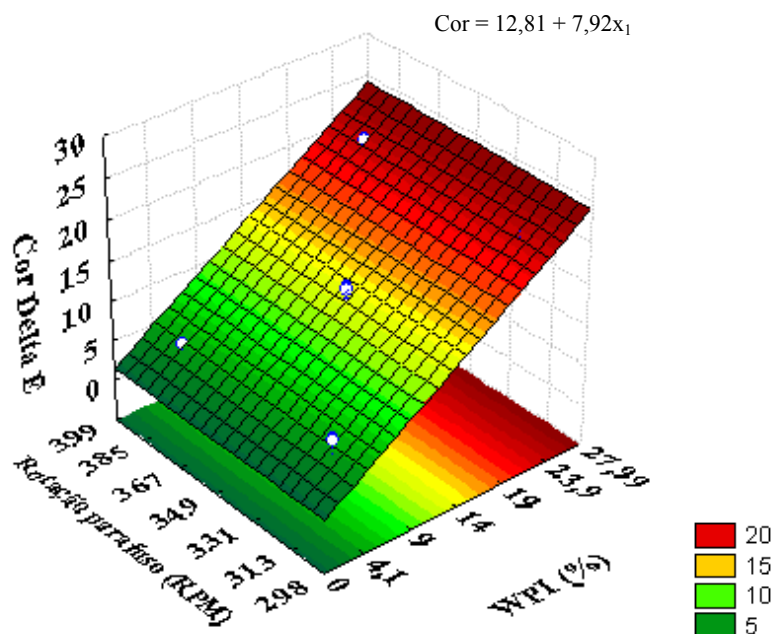


Figura 40 Efeito da variável quantitativa WPI nos valores de diferença de cor ( $\Delta E$ ) dos snacks de griz de milho

O aumento na diferença de cor foi evidente com o aumento dos teores de WPI. Conforme discutido anteriormente, as proteínas do soro fornecem aminoácidos e lactose para que ocorra a reação de Maillard. Porém, quando se compara o resultado obtido aqui com o resultado do snack com WPC (Figura 27), observa-se que a diferença de cor dos snacks com WPI foi maior, sugerindo que a maior presença de aminoácidos (em função do maior teor de proteína do WPI, quando comparado ao WPC) foi determinante para esse aumento. Onwulata et al.(1998), em seu trabalho com snacks de milho e arroz, concluíram que o teor de lactose, presente em soros de leite, é um fator que aumenta o escurecimento enzimático. Porém, como o WPC possui teor de até 8% de lactose e o WPI, aproximadamente, 3%, era de se esperar maiores diferenças de cor dos

snacks com o concentrado. Os resultados indicam que o aumento de aminoácidos fornecidos pelo WPI sobrepôs ao menor valor de lactose do mesmo. Outro fato, que deve ser ressaltado, é que mesmo a substituição de milho pelo WPI (que em tese reduziria o teor de açúcares provenientes da hidrólise do amido durante a extrusão), produziu cores mais escuras. Estes resultados sugerem que os aminoácidos presentes são mais reativos do que os açúcares, ou então a quantidade deste último é mais que suficiente para que ocorra a reação.

A Tabela 30 mostra os valores de luminosidade (L), cromaticidade a e cromaticidade b dos snacks de griz de milho e WPI.

Tabela 30 Valores médios para a Luminosidade (L), cromaticidade a e cromaticidade b dos pellets de griz de milho e WPI dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
L*	74,4	76,4	62,3	60,5	79,5	57,1	68,0	66,9	67,7	67,9	69,5
a*	4,5	3,6	8,9	8,9	1,5	11,1	7,6	7,7	7,3	7,2	6,8
b*	30,7	31,9	25,1	23,8	28,4	24,6	28,2	27,2	26,3	26,8	27,3

T1 – 4,1% 313rpm; T2 – 4,1% 385rpm; T3 – 23,9% 313 rpm; T4 – 23,9% 349rpm;  
T5 – 0,001% 349rpm; T6 – 28% 349rpm; T7 – 14% 298rpm; T8 – 14% 399rpm;  
T9, T10 e T11 – 14% 349rpm

\* Média de 4 observações

Como os valores de luminosidade vão de 0 (cor preta) a 100 (cor branca), observa que o tratamento padrão 05 foi o que obteve cor mais clara. Os tratamentos 01 (4,1% WPI e 313 rpm) e 02 (4,1% e 385 rpm) foram os que obtiveram valores mais próximos ao padrão. Isto mostra que teores mais baixos

de WPI adicionados ao snack não afetaram tanto a cor, como nos demais tratamentos. Os tratamentos 03 (23,9% e 313 rpm), 04 (23,9% e 385 rpm) e 06 (27,99 % WPI e 349 rpm) apresentaram os menores valores de L, indicando serem mais escuras do que os demais tratamentos, em virtude de possuírem maiores valores de WPI.

A cromaticidade a que tem valores entre -60 (cor verde) a +60 (cor vermelha) mostrou tendência maior nos tratamentos 03 (04 e 06) à cor vermelha. Isto pode ser justificado pelo maior teor de WPI nesses tratamentos, produzindo pigmentos amarelo-castanhos, como pode ser visto na Figura 40. No tratamento padrão mostrou-se a menor tendência ao vermelho, pois, obteve-se o menor valor positivo quando comparado aos demais. A cromaticidade b varia seus valores entre -60 (azul) a +60 (cor amarela). Sendo assim, observa-se que os tratamentos 01, 02 e 05 possuem a maior tendência à cor amarela que os demais tratamentos. Isto se deve ao fato deles possuírem o maior teor de griz de milho, matéria-prima que possui cor amarela. Os tratamentos T3, T4 e T6 apresentaram menores valores de cromaticidade b, mostrando que o teor de griz de milho/WPI influencia diretamente na avaliação deste parâmetro. Os snacks com WPC (Tabela 26) apresentaram valores de luminosidade L (59,36 a 82,98), cromaticidade a (3,91 a 11,11) e cromaticidade b (23,44 a 31,16%) próximos aos obtidos dos snacks com WPI. Isto sugere que o efeito das matérias-primas na cor dos snacks foram próximas.

#### **4.5.4 Textura**

A avaliação da qualidade de alimentos extrusados crocantes tem sido correlacionada com características sensoriais, instrumentais e microestruturais, na qual todas juntas serão responsáveis por um produto de alta aceitação. Em análises sensoriais de snacks, painéis altamente treinados ou painéis de

laboratório são técnicas frequentemente aplicadas. Parâmetros de crocância e dureza são os mais utilizados e, frequentemente, indicam boa relação entre a percepção humana e análise instrumental de textura (ANTON; LUCIANO, 2007).

Para a análise de crocância dos snacks foi utilizado o teste de punctura, no qual foram utilizados os seguintes parâmetros: frequência estrutural de rupturas (Nsr), força específica de rupturas estruturais (Fsr), força de punctura (F) e índice de crocância (Wc).

Para todos os parâmetros Nsr, Fsr, F e Wc não houve influência significativa ( $P \geq 0,05$ ) das variáveis WPI e rotação do parafuso. Suas análises de variância se encontram nas Tabelas 25B, 26B e 27B, do Anexo B. Os valores médios de cada um dos parâmetros se encontram na Tabela 31

Tabela 31 Valores médios para a frequência de rupturas estruturais (Nsr), força de rupturas estruturais (Fsr), força de punctura (F) e índice de crocância (Wc) dos pellets de gritz de milho e WPI

	Nsr (mm <sup>-1</sup> )	Fsr (N)	F (N)	Wc (N mm)
Valores médios dos tratamentos *	12,32	0,454	5,00	0,484

\* Média de 5 observações

O número médio de frequência de rupturas estruturais (Nsr) foi mais alto do que os obtidos pelos snacks com WPC, que apresentaram valores entre 2,8 a 4. Como o índice de expansão (Figura 38) indica que quanto maior o teor de WPI menor é o índice de expansão, os resultados sugerem que maior número de pequenas e densas bolhas estava nos snacks menos expandidos e, também,



grande número de bolhas expandidas estavam presentes nos snacks de maior expansão.

Quando se comparam as forças de rupturas estruturais ( $F_{sr}$ ) obtidas pelos snacks com WPC (Figura 28) e dos snacks com WPI, os menores valores obtidos pelo WPI sugerem que a sua estrutura interna apresentava células um pouco maiores e com paredes mais finas. Moreira (2010) obteve valores de 5 a 20 N para  $F_{sr}$ , em snacks de arroz, soja e variados teores de gergelim. As grandes diferenças de valores podem ser dadas às diferentes matérias-primas utilizadas nos trabalhos. Porém, para a força de punctura ( $F$ ), os snacks com WPC obtiveram menor média (2,67 N) quando comparados aos snacks com WPI. Estes resultados sugerem que maior quantidade de proteína presente no WPI, tenha produzido complexos fortes com a amilose, formando uma estrutura celular externa mais rígida nos snacks depois de esfriados. Resultados semelhantes foram obtidos por Onwulata et al. (2001), onde snacks de milho e 25% de WPC80 obtiveram menor resistência à ruptura medidos por texturômetro TA-XT2 quando comparados aos mesmos snacks de milho com 25% de WPI

O índice de crocância ( $W_c$ ) dos snacks com WPI, também, foram menores quando comparados aos dos snacks com WPC (0,842 N mm). Embora os resultados indiquem que uma maior crocância foi obtida pelos snacks com WPC, a densidade e índice de expansão de ambos snacks foram parecidas, ou seja, maiores teores de proteína (WPC ou WPI) nos tratamentos produziram menores expansões e maiores densidades. Em seu trabalho com extrusados expandidos de milho, Chen et al. (1991) chegaram à conclusão de que a crocância está intimamente relacionada com a densidade, a qual, por sua vez, correlaciona-se com a expansão, obtendo-se um produto menos denso com maior crocância. Como o  $W_c$  é a razão entre a força de punctura ( $F$ ) e a

frequência de rupturas estruturais (Nsr), maiores valores desta última nos snacks com WPI resultaram em maior Wc

#### **4.5.5 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)**

Segundo Ascheri (1997), as principais propriedades funcionais dos amidos extrusados, quando dispersos em excesso de água são a absorção de água e a solubilidade em água. O ISA é relacionado com a quantidade de sólidos solúveis que é, frequentemente, utilizado como um indicador de degradação de moléculas de amido e dextrinização (SILVA; CARVALHO; ANDRADE, 2009). Ele, também, pode medir o grau de conversão do amido, durante a extrusão, que corresponde à quantidade de polissacarídeos solúveis liberados do grânulo de amido (DING et al., 2005).

Os valores de ISA não foram influenciados significativamente ( $p \geq 0,05$ ) pelas variáveis WPI e rotação do parafuso. Sua análise de variância se encontra na Tabela 27B do Anexo B. A média dos tratamentos foi de 20,73% e apenas o tratamento 06 apresentou valor abaixo dos demais (10,8%). Os resultados obtidos sugerem que presença da proteína, de forma geral, não provocou diminuição da solubilidade, já que a interação amido-proteína forma complexos insolúveis sob aquecimento (conforme discutido no snack com WPC). Porém, o tratamento 06 que possui o mais alto teor de WPI (28%) teve seus valores de ISA diminuídos, sugerindo que houve a formação de complexos insolúveis pela interação proteína-proteína. Assim, como a interação proteína-proteína, dependendo do nível de desnaturação, também, pode formar complexos insolúveis. De acordo com Fox e Mcsweeney (2003), após a mudança de conformação pelas proteínas do soro pelo aquecimento e cisalhamento, as interações sulfidril-dissulfídicas e interações hidrofóbicas podem fazer com que

as moléculas das proteínas se agreguem e, dependendo das condições ambientes, formem precipitados insolúveis.

O índice de absorção de água é dependente da presença de moléculas de amido relativamente intactas, na qual não tenham perdido sua habilidade de se ligar à água e formar gel (ALLEN et al., 2007). O índice de absorção de água não foi influenciado, significativamente, por nenhuma das variáveis independentes. Sua análise de variância se encontra na Tabela 28B, do Anexo B. A média dos tratamentos foi de 6,36 g gel.g<sup>-1</sup> de matéria seca. Apesar do efeito diluidor do milho, o que faria a absorção de água diminuir, as médias entre os tratamentos foram próximas. Quando se compara o valor médio obtido para o snack com WPI com o pellets WPI (5,75 g de gel g de matéria seca<sup>-1</sup>), observam-se valores ligeiramente mais altos para os snacks, facilmente justificável pelas condições do processo de extrusão de ambos. De acordo com Chiang e Johnson (1977), a combinação de teores de umidade, temperatura, velocidade do parafuso, entre outras variáveis, pode reduzir ou aumentar o grau de gelatinização do amido.

#### **4.5.6 Viscosidade de pasta**

Os gráficos da viscosidade de pasta aparente, obtidos por RVA (Rapid Visco Analyser), estão representados pelas Figuras 41 e 42. As viscosidades a frio se situaram entre 243 cP a 1103,5 cP. O tratamento padrão T5 obteve o maior pico de viscosidade a frio, fato que pode ser creditado à maior gelatinização, durante o processo de extrusão, já que este tratamento possui somente milho. Os tratamentos 9, 10 e 11 (ponto central) apresentaram maiores viscosidades a frio, também, talvez, em virtude da moderada rotação do parafuso (349 rpm), provocando desnaturação parcial das proteínas, permitindo formação de gel em excesso de água no aparelho RVA. Quando se comparam os tratamentos T1 e T2, observa-se uma menor gelatinização do T2. Estes

resultados sugerem que a maior rotação do parafuso tenha provocado desnaturação mais intensa na proteína, causando menores quantidades de géis formados durante a análise de RVA. O tratamento T6 obteve a segunda menor viscosidade a frio (283 cP) e a maior viscosidade máxima (253 cP), comportamento diferente dos demais tratamentos. Isto pode ser creditado ao maior teor de WPI (27,99%) e, conseqüentemente, menor teor de milho. Menor gelatinização, durante o processo de extrusão e desnaturação mais intensa das proteínas pode ter sido a causa da baixa viscosidade a frio. O maior pico de viscosidade máxima pode ter sido influenciado pelo maior teor de WPI, pois, novo reaquecimento (primeiro aquecimento foi durante a extrusão) das proteínas causou nova mudança de conformação, agregação e, conseqüentemente, formação de gel em excesso de água. Maior viscosidade final deste tratamento confirma a tendência de endurecimento do gel ao ser resfriado. É importante observar, também, que o T5 apresentou a maior viscosidade final dentre todos, por conter mais amido de milho, que apresenta tendência de aumentar a viscosidade no ciclo de aquecimento. O gel formado, quando resfriado, tende a reconstruir estrutura mais rígida pela agregação das cadeias de amilose, formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio. Isso resulta em maior perda de água do sistema e endurecimento do produto final, fenômeno chamado retrogradação (LOBO; SILVA, 2003; MUNHOZ; WEBER; CHANG, 2004).

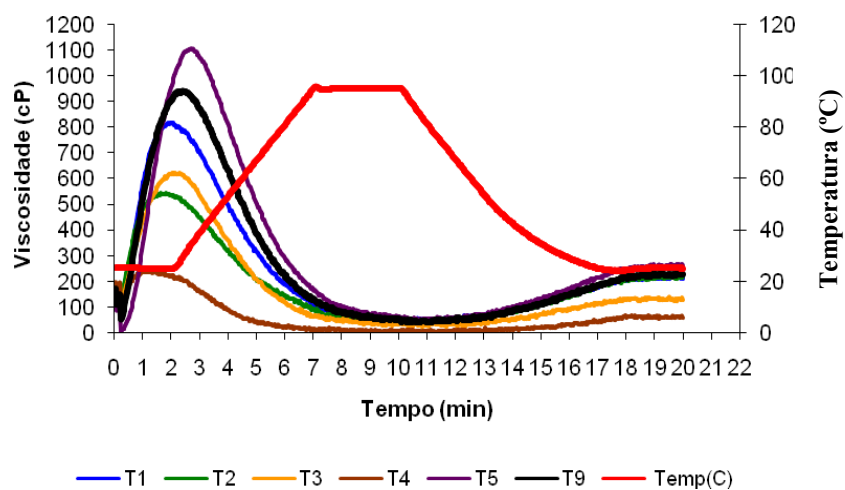


Figura 41 Representação gráfica da viscosidade de pasta aparente dos tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T9 dos snacks de griz de milho e WPI

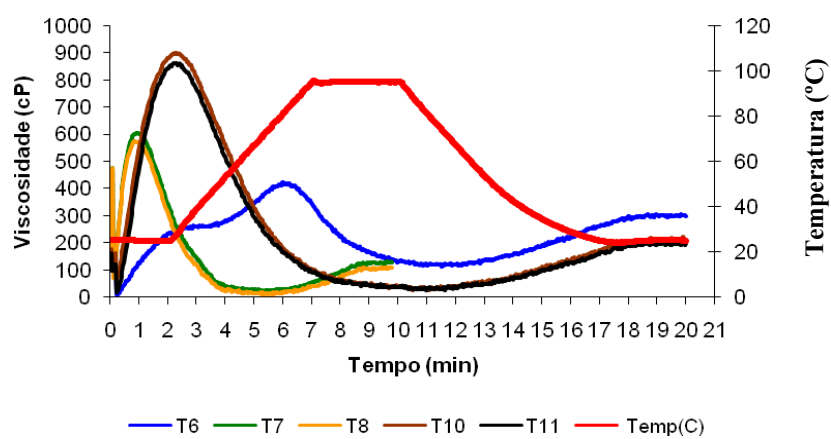


Figura 42 Representação gráfica da viscosidade de pasta aparente dos tratamentos T6, T7, T8, T10 e T11 dos snacks de griz de milho e WPI

A viscosidade a 25°C foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) pelas variáveis WPI linear e rotação do parafuso quadrática. Porém foram utilizados os dados do modelo completo, pois, ao se ajustar o modelo matemático, eliminando as variáveis não significativas, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ficou abaixo de 0,70, além da não adequação do modelo matemático aos dados experimentais. Sua análise de variância se encontra na Tabela 28B, do Anexo B. Portanto, o  $R^2$  do modelo completo foi de 0,83757.

Em pastas amiláceas, a viscosidade a frio representa o valor máximo de viscosidade (em cP) no início do ciclo de aquecimento, que depende (principalmente) do grau de gelatinização dos grânulos de amido e da magnitude da sua quebra molecular durante o processo de extrusão (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006). Mas a presença das proteínas do soro alterou esse comportamento.

Observando a Figura 43, que representa a superfície de resposta para a viscosidade a frio, baixos valores de WPI, combinado a rotações intermediárias do parafuso, indicam maior gelatinização e quebra molecular do amido durante o processo de extrusão. Maiores ou menores rotações reduzem a viscosidade. Os resultados sugerem que, em quantidade limitada de umidade (12%), temperatura (130°C) e determinadas faixas de rotação do parafuso, aumentam a gelatinização do amido. De acordo com Chiang e Johnson (1977), maiores velocidades do parafuso podem diminuir o tempo de retenção da amostra no extrusor, a qual pode resultar em decréscimo da gelatinização. Teores acima de 14% de WPI diminuem a viscosidade a frio, independente da velocidade de rotação do parafuso.

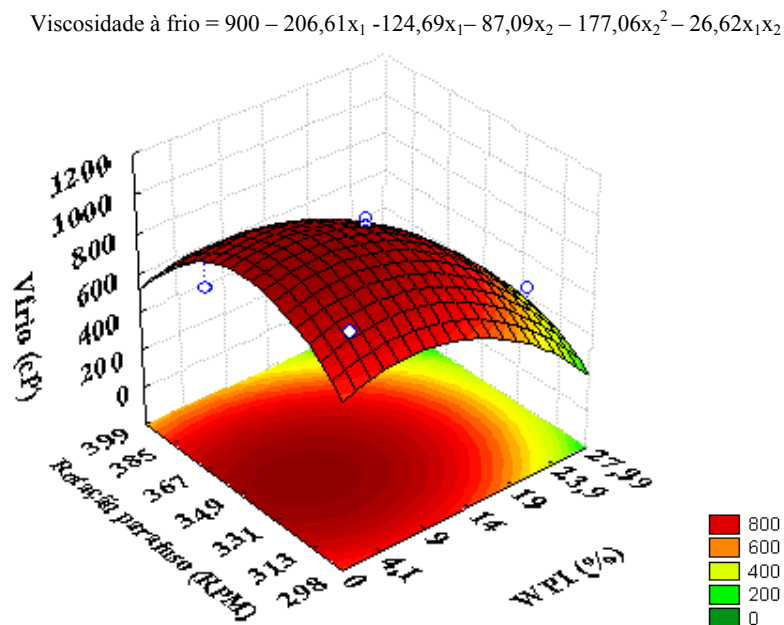


Figura 43 Efeito da variável quantitativa WPI nos valores de viscosidade a frio dos snacks de griz de milho

Os resultados obtidos aqui diferem dos obtidos pelos snacks com WPC, onde um aumento do teor da proteína provocou aumentos lineares da viscosidade a frio, resultantes da formação de gel. Os resultados sugerem que o WPI sofreu desnaturação excessiva, com conseqüente não formação de gel. De acordo com Fox e Mcsweney (2003), as propriedades de gelificação das proteínas do soro são afetadas pela sua composição, concentração de proteína, pH, temperatura e tempo de aquecimento, ligações iônicas e a presença de outros ingredientes. A concentração de lactose reduz a suscetibilidade de desnaturação da proteína pelo calor. WPC possui teor aproximado de 8% de lactose e WPI,

teor de 3,5% Vale ressaltar que a composição dos produtos de soro de leite pode apresentar variações em virtude do tipo de processamento industrial que sofrem.

Para a viscosidade máxima a 95°C, as variáveis independentes WPI e rotação do parafuso não influenciaram significativamente ( $P \geq 0,05$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 29B, do Anexo B. Sua média foi de 88,05 cP

Pastas amiláceas, durante o ciclo de aquecimento do aparelho RVA, sofrem um aumento de suas viscosidades, em virtude do intumescimento e gelatinização dos grânulos de amido, atingindo o pico máximo nessa etapa. Em processamento mais severo por extrusão (comum na produção de expandidos diretos ou snacks), a estrutura cristalina do amido pode ser totalmente destruída de tal forma que no ciclo de aquecimento o perfil de viscosidade do material amiláceo pode revelar ausência de pico com viscosidade baixa. Em condições brandas, como na produção de “half-products” ou pellets, o material amiláceo poderá conservar parte da integridade dos grânulos de amido, observando-se no perfil de viscosidade valores relativamente altos de viscosidade máxima. Isto pode ser observado, neste trabalho, onde os pellets com WPI obtiveram valores médios de 1129 cP de viscosidade máxima, contrastando com a média de 88,05 cP para os snacks com WPI. Porém, quando se comparam os resultados do snack com WPI ao do snack com WPC, observam-se resultados diferentes. O WPI não influencia na viscosidade máxima, enquanto que maiores concentrações de WPC aumentam as viscosidades. Como já citado anteriormente, este fator parece estar ligado à não formação de gel pelas proteínas em determinadas concentrações de WPI. Ao observar os gráficos 41 e 42, vê-se que apenas o tratamento 06 possui um pico de viscosidade máxima, durante a fase de aquecimento, e os demais tratamentos apresentam uma queda. Isto pode ser creditado ao maior teor de WPI do tratamento 06 (28%) e alguma formação de gel. Por ter sido o único tratamento a apresentar pico durante essa fase e, ainda, que pequeno, fez com



que a estatística não tenha verificado diferença significativa entre os tratamentos.

A viscosidade mínima a 95°C, também, não foi influenciada significativamente ( $P \geq 0,05$ ) pelas variáveis WPI e rotação do parafuso. Sua análise de variância se encontra na Tabela 29B, do Anexo B. Seu valor médio foi de 35,23 cP. Visto que a viscosidade mínima pode ser tomada como a medida do grau de desintegração dos grânulos de amido ou outras substâncias, a substituição do milho pelo WPI nos níveis trabalhados apresentou efeito diluidor (menor teor de amido) sem diferença entre os tratamentos. A interação amido-proteína pode ter formado complexos que compensaram a diminuição do teor de amido.

O breakdown foi influenciado significativamente ( $p < 0,05$ ) apenas pela variável rotação do parafuso quadrática, porém, não houve um modelo matemático que se ajustasse bem aos dados experimentais (Tabela 30B, do Anexo B). Suas médias se encontram na Tabela 32.

Tabela 32 Valores médios para o breakdown dos pellets de griz de milho e WPI dos 8 tratamentos (1 a 8) e dos 3 pontos centrais (tratamentos 9 a 11)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Breakdown (cP) *	29	24	25	41,5	62	139	13	20	86,5	72,5	67,5

T1 – 4,1% 313rpm; T2 – 4,1% 385rpm; T3 – 23,9% 313 rpm; T4 – 23,9% 349rpm;  
T5 – 0,001% 349rpm; T6 – 28% 349rpm; T7 – 14% 298rpm; T8 – 14% 399rpm;  
T9, T10 e T11 – 14% 349rpm

\* Média de 2 observações

Por meio do “breakdown” ou quebra da viscosidade, é possível avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas sob agitação mecânica. Observa-se

que a rotação do parafuso acarretou resultados diversos nos valores de breakdown. Quando se comparam os tratamentos T1 com o T2, e T3 com T4, observa-se que, nos dois primeiros, uma maior rotação do parafuso provocou pequena diminuição dos valores de breakdown, ao passo que, nos dois últimos, o aumento da rotação incrementa o breakdown. O maior valor de breakdown do tratamento 06 pode ser creditado ao maior teor de WPI deste tratamento. Embora os resultados das viscosidades a frio, máxima e setback indiquem que pouca ou nenhuma formação de gel pelas proteínas, talvez, em decorrência da intensa desnaturação das mesmas, durante o processo de extrusão, a mudança de conformação das proteínas, seguida de extensa desnaturação pode ter formado precipitados ocasionando pequeno aumento de viscosidade breakdown (resultado semelhante foi obtido na viscosidade máxima). Os T7 a T11 possuem o mesmo teor de WPI, porém rotações de parafuso e, conseqüentemente, cisalhamento diferentes. Os pontos centrais (T9 a T11) indicam que uma determinada faixa de rotação do parafuso provocou maior quebra de viscosidade. Resultados semelhantes foram obtidos na viscosidade a frio, onde teores intermediários de rotação do parafuso provocaram maiores picos de viscosidade.

A viscosidade setback é um indicador da reassociação entre as moléculas de amido, indicado pelo aumento na viscosidade, durante o resfriamento e está relacionado à retrogradação e reordenamento das moléculas do amido (RAGAEE; ABDEL-AAL, 2006).

Para os valores de Setback ou retrogradação, as variáveis independentes WPI e rotação do parafuso influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ). Sua análise de variância se encontra na Tabela 30B do Anexo B. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado foi de 0,79411.

A Figura 44 representa as curvas de nível para a viscosidade setback.

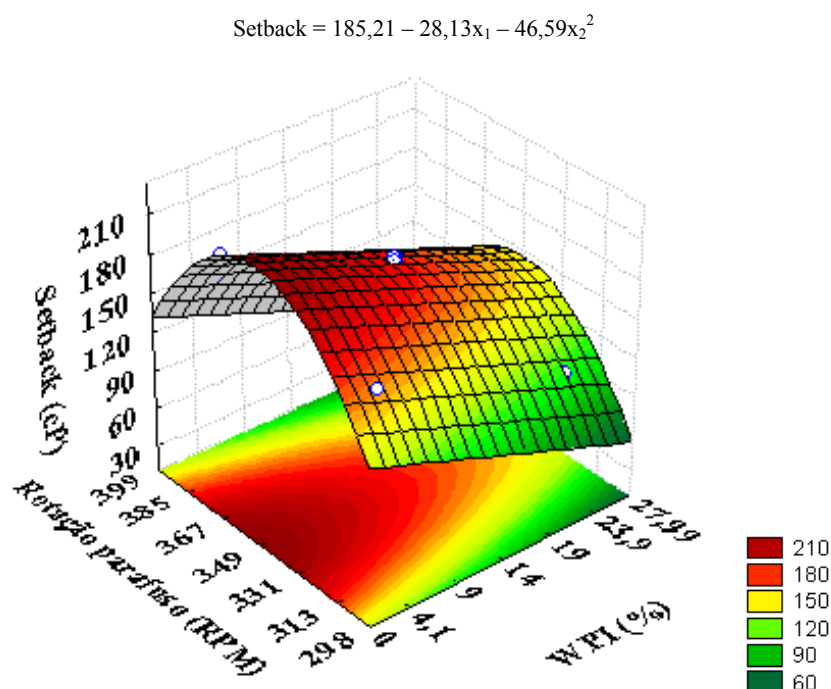


Figura 44 Efeito do WPI (%) nos valores de setback dos snacks de griz de milho

Observa-se que um aumento nos valores de WPI provocou menores valores de setback. Como anteriormente discutido, as proteínas não contribuíram para aumentar a viscosidade, talvez, em decorrência da desnaturação intensa das mesmas, sem formação de gel. Ao se comparar os resultados de setback obtidos aqui e os resultados do snack com WPC, observa-se que este último teve aumentos da retrogradação com o aumento do teor de WPC. Este fator pode ser atribuído ao endurecimento dos géis.

Vários fatores influenciam no comportamento da proteína no que tange à sua desnaturação e gelificação, conforme discutido anteriormente. O teor maior de proteínas no WPI (Tabela 11) pode ter ocasionado desnaturação excessiva e,

consequentemente, não gelificação da solução amido-proteína. De acordo com Kinsella e Whitehead (1989), maior concentração das proteínas do soro, antes do processo de aquecimento, pode levar à excessiva desnaturação, particularmente dos constituintes imunoglobulinas e albumina sérica (BSA). Dessa forma, a queda dos valores de setback foram a consequência do efeito diluidor do amido, já que este foi substituído pela WPI. Resultados semelhantes foram obtidos por Duarte, Carvalho e Ascheri (2009), onde a substituição do milho por casca de soja, um material não amiláceo, na produção de expandidos de milho, diminuiu os valores de setback. Observa-se, ainda, de acordo com a Figura 44, que rotações do parafuso entre 331 a 367 produziram maiores valores de setback. Os resultados sugerem que esta faixa de rotação produziu cisalhamento suficiente e ideal nos grânulos de amido, resultando em maiores gelatinizações e consequentes maiores viscosidades finais. A combinação dos efeitos mecânicos e térmicos sobre o grânulo de amido, durante o processo de extrusão, podem ter contribuído para os danos crescentes de amido, resultando em um aumento na lixiviação de amilose fora da estrutura do amido, favorecendo rearranjos moleculares (VAN DEN EINDE et al., 2004).

#### **4.5.7 Composição centesimal e valor calórico**

Em análise de alimentos, os objetivos se resumem em determinar um componente específico do alimento, ou vários componentes, como no caso da determinação da composição centesimal do alimento. Os processos analíticos utilizados na análise de alimentos permitem: controle de qualidade de produtos existentes, pesquisa de novos produtos e pesquisa de nova metodologia dos produtos existentes (CECCHI, 2003). A Tabela 33 mostra a composição centesimal e valor calórico dos snacks de grits de milho e WPI na matéria integral.

Tabela 33 Composição centesimal média e valor calórico dos pellets de milho e isolado protéico de soro (WPI)

Composição (g 100g <sup>-1</sup> )*	T1	T2	T4	T5	T7	T12
Umidade	10,72	10,23	11,14	10,70	10,29	10,60
Extrato						
etéreo	0,269	0,254	0,225	0,298	0,227	0,054
Proteína	11,09	10,54	24,95	8,05	16,74	17,07
Cinzas	0,60	0,398	0,735	0,298	0,595	0,611
Fibra						
alimentar	nd	1,60	nd	1,10	nd	1,35
Carboidrato	nd	76,98	nd	79,55	nd	70,32
Valor						
Calórico	nd	352,36	nd	353,08	nd	350,04

\* Média de 3 observações nd – não determinado

A água pode ocorrer como componente intracelular ou extracelular, em vegetais e animais e apresenta-se com teor variável nos diferentes alimentos. A água na quantidade, localização e estrutura adequada é essencial para o processo vital, influencia na textura, na aparência, no sabor e na deterioração química e microbiológica dos alimentos (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Os teores de umidade dos snacks foram relativamente próximos entre si, indicando que o processo de secagem aplicado, após a extrusão, foi homogêneo. Quanto maior o teor de água de um alimento, maior é a sua sensibilidade à deterioração e é por isso que a maioria dos métodos de preservação dos alimentos baseia-se na remoção da água pela secagem, na redução da mobilidade da água por congelamento ou, ainda, na adição de solutos (RIBEIRO;

SERAVALLI, 2007). Adequadamente embalados em sacos plásticos, os snacks mantêm sua umidade baixa, sem perderem a sua crocância.

Os lipídeos que se encontram nos alimentos exibem propriedades físicas e químicas particulares, dentre elas destaca-se a sua estrutura cristalina, as propriedades de fusão e a capacidade de associação com a água e outras moléculas não lipídicas. Estas propriedades têm especial influência nas propriedades funcionais de alguns alimentos, essenciais para se conseguir uma determinada consistência, sabor e um aroma específicos (CASTRO, 2002).

Os teores de lipídeos ou extrato etéreo foram próximos entre os tratamentos, à exceção ao tratamento 12 onde foi obtido um menor teor. Isto pode ter sido causado por algum tipo de degradação lipídica ocorrida neste tratamento. Segundo Singh, Gamlath e Wakeling (2007), alguns tipos de oxidações lipídicas podem ocorrer em extrusados expandidos. Uma grande área de superfície criada por células de ar, por meio de alta expansão, favorece a oxidação. Ou, ainda, pode ocorrer desnaturação de enzimas que podem promover a oxidação. Moreira (2010) obteve 0,18 g 100 g<sup>-1</sup> de lipídeos para snacks de arroz e soja e teores que variaram entre 0,24 à 1,06 g 100 g<sup>-1</sup> de lipídeos para snacks de arroz, soja e acrescidos de 5% a 20% de torta de gergelim. Diferenças entre os valores podem ser creditadas a diferentes matérias-primas utilizadas, com teores de lipídeos diferentes.

Para os valores de proteínas, os valores obtidos entre os tratamentos 01 e 02 foram próximos, pois, os mesmos possuem o mesmo teor de WPI (4,1%). A diferença de rotação do parafuso entre os dois tratamentos parece não ter influenciado no teor da mesma. Os tratamentos 07 e 12 apresentaram resultados semelhantes, onde uma maior velocidade do parafuso não influenciou nos resultados obtidos. Segundo Singh, Gamlath e Wakeling (2007), o aumento na velocidade do parafuso possui insignificantes efeitos na digestibilidade da proteína. Observa-se, também, que todos os tratamento com WPI apresentaram

maiores teores de proteína quando comparados ao tratamento padrão 05. Segundo o regulamento técnico referente à informação nutricional complementar (Portaria nº 27) (BRASIL, 1998) e o Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína (ANVISA, 2004), todos os tratamentos de snacks podem ser considerados alimentos com alto teor de proteína.

Os elementos minerais (cinzas) representam a menor porção na composição dos alimentos, que possuem maior papel na química de alimentos e nutrição. Eles são sólidos, cristalinos, elementos químicos que não podem ser decompostos ou sintetizados por nenhuma simples reação química (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007). O aumento do teor de WPI nos snacks causou um aumento no teor de cinzas nos mesmos, fato justificado pelo WPI conter maior teor de cinzas do que o griz de milho (Tabela 11). Alonso et al. (2001), em seu trabalho de extrusados de ervilhas e sementes de feijão, concluiu que a extrusão não afetou a composição de minerais dos mesmos.

As fibras alimentares, que compreendem os componentes da parede celular dos vegetais, mesmo sem serem digeridas pelo organismo humano, representam um papel muito importante na digestão e absorção de outros nutrientes presentes nos alimentos, tais como as gorduras e açúcares (CASTRO, 2002). Os teores de fibra alimentar dos três tratamentos analisados, foram próximos entre si, em cuja substituição do milho pelo WPI parece não ter influenciado nos valores de fibras dos tratamentos. Em seu trabalho de snacks de arroz e soja, Moreira (2010) obteve valores de 2,21 g 100g<sup>-1</sup> de fibra alimentar total, valor este um pouco maior ao deste trabalho. Porém, vale ressaltar que a farinha de soja desengordurada utilizada como matéria-prima no trabalho da referida autora possuía maior valor de fibra (6,21g 100g<sup>-1</sup>) quando comparada ao griz de milho (4,46 g 100g<sup>-1</sup>) deste trabalho.

Quanto aos teores de carboidratos, obtidos por diferença dos demais componentes da composição centesimal, o tratamento 12 apresentou uma pequena redução no seu valor, quando comparado aos T5 e T12. Fato justificado pelo maior teor de proteína do tratamento 12. Quando se comparam os resultados de carboidratos dos snacks com WPI e dos snacks com WPC (Tabela 28) observam-se valores próximos, sugerindo que ligeiros aumentos do teor de proteína obtido pelo WPI pouco influenciou nos resultados. Os resultados dos valores calóricos dos snacks foram próximos entre si, em que apenas o tratamento 12 obteve uma ligeira redução, em virtude de seu menor teor de carboidratos. Os menores valores calóricos, obtidos pelos snacks com WPI, quando comparados com os pellets com WPI, podem ser creditados à alta absorção de óleo dos pellets. Embora os lipídeos representem fonte de energia, o seu excesso em dietas é associado a doenças crônicas e obesidade (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007).

#### **4.5.8 Aminoácidos**

As proteínas de origem vegetal são consideradas incompletas, pois, apresentam falta de um determinado aminoácido ou ele existe em quantidade insuficiente (VILAS BOAS, 2008). O milho, como a maioria dos cereais, apresenta deficiência do aminoácido lisina, na qual ele deve ser complementado com outro tipo de proteína na dieta. Os produtos de soro (nas quais os WPC e WPI) têm assumido papel importante na indústria de alimentos, em decorrência de seu valor nutritivo e funcional, em que sua incorporação em produtos extrusados podem suprir as carências de proteínas e aminoácidos dos mesmos (ALLEN, 2006).

A Tabela 34 mostra o perfil aminoacídico dos snacks de griz de milho e WPI em g 100g<sup>-1</sup> de amostra e em g 100g<sup>-1</sup> de proteína na matéria seca.



Os tratamentos 01 e 02 apresentaram valores de aminoácidos próximos entre si, fato justificado por possuírem o mesmo teor de WPI (4,1%). Ambos apresentaram maiores teores de aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> de amostra quando comparados ao tratamento de griz de milho puro, mostrando que o acréscimo de WPI, mesmo em pequenas quantidades contribui para a melhora do valor nutricional dos snacks. Quando se comparam os tratamentos 07 e 12, notam-se valores ligeiramente superiores de aminoácidos do último tratamento, fato que pode ser creditado a variações sofridas pelos mesmos, durante o processo de extrusão, já que ambos possuem o mesmo teor de WPI (14%). Os referidos tratamentos, também, apresentaram maiores teores para todos os aminoácidos, fato observado, ainda, pelo valor total deles no final da Tabela 40. Para o aminoácido histidina nenhum tratamento atingiu o padrão estabelecido para a FAO (1990) para crianças de 2 a 5 anos, porém, os tratamentos 01 e 05 atingiram mais de 67% do valor recomendado pela FAO utilizado neste trabalho

Os tratamentos 02 e 12 obtiveram mais de 79% dos valores recomendados para o aminoácido isoleucina. Para a Leucina, os snacks dos tratamentos 02 e 05 superaram o recomendado, e os demais tratamentos obtiveram bons resultados. Para a lisina, as análises aminoacídicas comprovam o mesmo como aminoácido presente em baixas quantidades no milho (tratamento 05), e o incremento do mesmo na presença do WPI na formulação dos snacks. Para a fenilalanina e tirosina, e a valina os tratamentos fortificados com WPI 02 e 12 foram os que mais se aproximaram do padrão FAO. Todos os tratamentos fortificados superaram o tratamento padrão em g 100g<sup>-1</sup>, porém, todos ficaram abaixo do recomendado.

Tabela 40 Aminoácidos presentes nos tratamentos dos snacks de griz de milho e WPI

Aminoácid.	T1		T2		T4		T5		T7		T12		FAO*
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2
Histidina	0,1	1,3	0,1	1,2	0,2	0,8	0,1	1,3	0,2	1,0	0,2	1,0	1,9
Isoleucina	0,2	1,7	0,2	2,2	0,6	2,2	0,1	1,6	0,4	1,9	0,5	2,4	2,8
Leucina	0,7	5,4	0,8	6,9	1,3	4,6	0,7	7,5	0,9	4,9	1,1	5,6	6,6
Lisina	0,2	1,4	0,2	1,9	0,6	2,2	0,1	0,7	0,4	1,9	0,5	2,4	5,8
Fenilalan e tirosina	0,5	3,9	0,6	4,9	0,9	3,5	0,5	5,6	0,7	3,7	0,8	4,2	6,3
Valina	0,3	2,3	0,3	2,7	0,6	2,3	0,2	2,5	0,4	2,1	0,5	2,7	3,5
Treonina	0,3	2,5	0,3	2,2	0,7	2,6	0,1	1,5	0,5	2,6	0,5	2,8	3,4
Metion. e cisteína	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,5
Triptofano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,1
Asparagina	0,5	4,1	0,4	3,9	1,1	3,7	0,3	3,0	0,6	3,5	0,7	3,7	---
Serina	0,3	2,5	0,3	2,2	0,5	1,8	0,2	2,3	0,4	2,2	0,4	2,1	---
Glutamina	1,2	10,1	1,1	9,5	1,8	6,6	0,9	10,4	1,3	7,4	1,5	7,8	----
Glicina	0,1	1,3	0,1	1,23	0,2	0,8	0,1	1,4	0,2	0,9	0,2	0,9	----
Arginina	0,2	1,6	0,2	1,5	0,3	0,9	0,1	1,5	0,2	1,3	0,2	1,1	----
Alanina	0,4	2,4	0,4	3,6	0,6	2,3	0,4	4,0	0,5	2,6	0,5	2,8	----
Prolina	0,5	3,9	0,6	4,9	0,8	3,0	0,5	5,6	0,6	3,0	0,7	3,8	----
Aminoáci dos totais	5,5	45	5,7	49	10	37	4,4	49	7,3	39	8,3	43	----

1 – aminoácidos em .g 100g<sup>-1</sup> de amostra2 – aminoácidos em g 100g<sup>-1</sup> de proteína

nd – não foi possível determinar

FAO (1990) – recomendado para crianças na faixa etária de 2 a 5 anos

Quando se compara o total de aminoácidos presentes nos snacks com WPC (Tabela 35) e os obtidos para os snacks com WPI, observam-se diferenças nos resultados. Snacks com WPC obtiveram valores mais altos de aminoácidos totais no tratamento 07. Para o tratamento 12, os ganhos em teor de aminoácidos

foram praticamente iguais em ambos snacks. Porém, os tratamentos fortificados com as proteínas do soro 01 e 02, além do tratamento padrão, 05 foram superiores nos snacks com WPI.

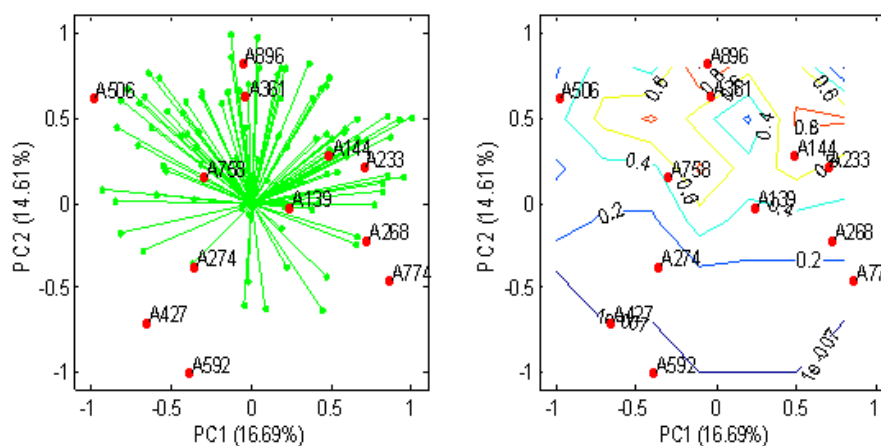
#### **4.6 Análise sensorial dos pellets e snacks com concentrado (WPC) e isolado protéico (WPI)**

Os resultados da análise sensorial dos pellets e snacks com WPC e WPI estão descritos a seguir.

##### **4.6.1 Avaliação sensorial dos pellets com WPC e WPI**

A análise sensorial é, hoje, uma disciplina desenvolvida, com seus métodos aplicados em indústrias de produtos de consumo de várias áreas. A competição entre as indústrias por parcela de mercado leva a uma necessidade de aperfeiçoamento da qualidade de seus produtos. As técnicas da análise sensorial têm grande aplicação nesse processo (CHAVES; SPROESSER, 1993). A técnica de mapa de preferência, aplicada neste trabalho, é uma técnica que tenta correlacionar avaliações de preferência do consumidor a características de percepção sensoriais do produto, a fim de determinar como as características sensoriais do produto afetam o quanto ele gostou do mesmo (GASTON et al., 2010).

A Figura 45 ilustra o mapa de preferência interno da impressão global dos pellets com WPC e WPI.



A361 = T1WPC A233 = T2WPC A896 = T5WPC A268 = T7WPC  
 A774 = T8WPC A139 = T12WPC A144 = T1WPI A758 = T2WPI  
 A506 = T5WPI A274 = T7WPI A592 = T8WPI A427 = T12WPI

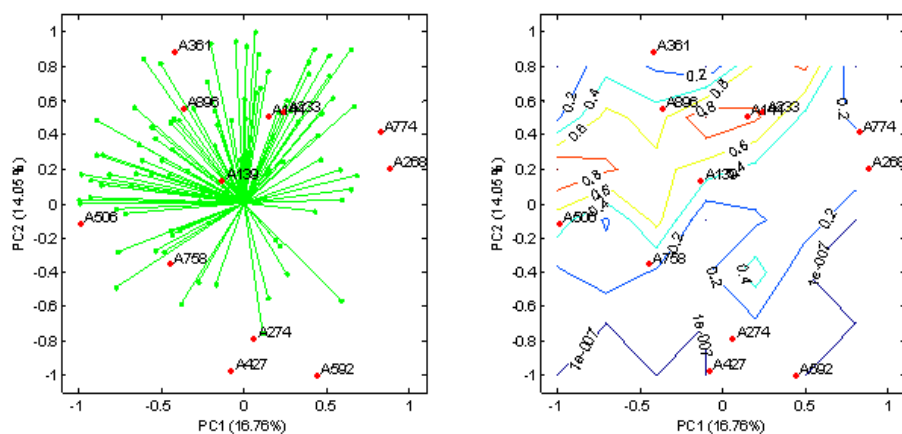
Figura 45 Mapa de preferência interno da aceitação global dos pellets com WPC e dos pellets com WPI

Observa-se que as amostras A144 (5%WPI, 60°C), A233 (5%WPC, 90°C), A896 (0,03%WPC, 75°C), A361 (5%WPC, 60°C) são as mais preferidas pelos consumidores, apresentando semelhante preferência entre si. Os resultados indicam que pequenos teores de WPC/WPI, nas formulações dos pellets, produziram características nos mesmos que foram agradáveis aos consumidores, igualando-se a um dos tratamentos padrão (A896). Em comum, essas amostras foram as menos densas (Figuras 5 e 15) e, portanto, mais expandidas e aeradas.

De acordo com o gráfico das densidades da Figura 40, em um nível mais abaixo, que as anteriormente citadas como as mais preferidas, aparece a amostra A758 (5% WPI, 90°C) e logo depois a amostra A139 (17% WPC, 75°C). As amostras menos preferidas foram as A427 (17% WPI, 75°C), A592 (17% WPI, 96,2°C), A774 (17% WPC, 96,2°C), A274 (17% WPI, 53,8°C) e A268 (17% WPC, 53,8°C). Quando se relacionam essas amostras com outras análises, tem-

se em comum a essas amostras uma maior densidade e, também, uma maior diferença de cor em relação à amostra padrão (Figura 16).

A Figura 46 ilustra o mapa de preferência interno da intenção de compra dos pellets com WPC e com WPI. As amostras com melhor intenção de compra foram: A896 (0,03% WPC e 75°C), A233 (5% WPC e 90°C) e A144 (5% WPI e 60°C). Seguidamente, a amostra A139 (17% WPC e 75°C), também, obteve boa intenção de compra. Quando se comparam os resultados obtidos aqui e os dados da aceitação global dos pellets (Figura 40), observa-se que as amostras mais aceitas foram as que tiveram a melhor intenção de compra, exceção à amostra A361 (5% WPC e 90°C) que estava entre as mais preferidas, mas não obteve boa intenção de compra. Esses resultados indicam comportamento semelhante na preferência e na escolha da compra, onde a única amostra que não se correlacionou nos dois quesitos, pode ter sido causada por alguma característica não citada pelos provadores que comprometeu a intenção de compra. As amostras A774 (17% WPC e 96,2°C), A268 (17% WPC e 53,8°C), A427 (17% WPI e 75°C), A592 (17% WPI e 96,2°C), e a A274 (17% WPI e 53,8°C) apresentaram a pior intenção de compra. Novamente, as amostras menos preferidas foram as que obtiveram a menor intenção de compra. Esse comportamento sugere que consumidores podem ser mais seletos e exigentes na hora de comprar, selecionando um menor número de amostras para tal fim, mesmo que gostem de outras também.

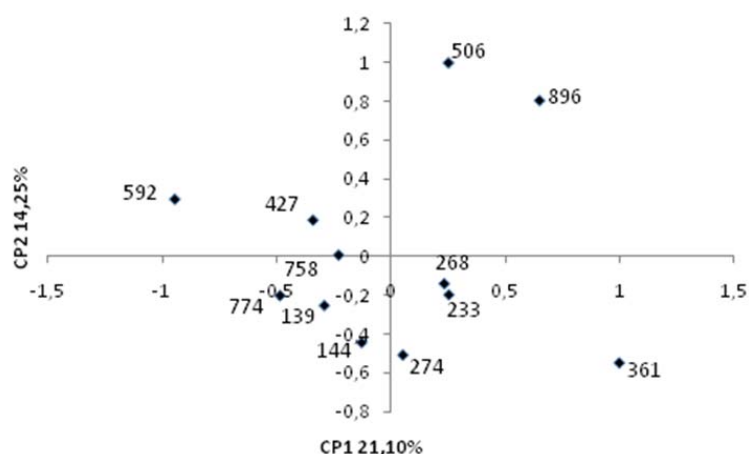


A361 = T01WPC    A233 = T02WPC    A896 = T05WPC    A268 = T07WPC  
 A774 = T08WPC    A139 = T12WPC    A144 = T01WPI    A758 = T02WPI  
 A506 = T05WPI    A274 = T07WPI    A592 = T08WPI    A427 = T12WPI

Figura 46 Mapa de preferência interno da intenção de compra dos pellets com WPC e dos pellets com WPI

Embora o mapa de preferência seja uma das ferramentas mais populares de pesquisa de marketing, ele possui limitações, pois, neste tipo de teste é perguntado ao consumidor o quanto ele gosta do produto, e informações como eles percebem ou descrevem o produto não são coletadas (LADO et al., 2010). Neste sentido, a ferramenta check-all-that-apply (CATA) tem sido aplicada a consumidores para se determinar qual atributo sensorial pode ser característica de um produto específico (DOOLEY; LEE; MEULLENET, 2010). Neste trabalho, questões CATA foram aplicadas juntamente ao teste de aceitação, em que os consumidores determinavam o melhor termo para descrever o produto, permitindo-se obter uma melhor percepção da aceitação do mesmo. Por meio da análise de componentes principais, as respostas dadas pelos provadores do que mais gostaram de cada amostra foi transformada em coordenadas que estão expressas nas Figuras 47 e 48.

A amostra A506 (0,03 WPI % e 75°C) e a A896 (0,03%, 75°C) tiveram como principais atributos de gostar citados pelos consumidores, a aparência, a cor e a textura, sendo estas duas das amostras mais preferidas. As amostras 268 (17% WPC e 53,8°C) e 233 (5% WPC e 90°C) foram relacionadas positivamente pelo aroma, pouco sal e equilíbrio de sal. Este último atributo, também, foi relacionado à amostra 274 (17% WPI e 53,8°C). O atributo crocância foi o mais relacionado positivamente à amostra 361 (5% WPC e 60°C). As amostras 139 (17% de WPC e 75°C) e 144 (5% WPI e 60°C) foram correlacionadas ao aroma e pouco sal, sendo este último atributo, também, mais relacionado às amostras 758 (5% WPI e 90°C) e 427 (17% WPI e 75°C). A amostra 592 (17% WPI e 96,2°C) não teve nenhum atributo positivo fortemente ligado à mesma.



A361 = T01WPC   A233 = T02WPC   A896 = T05WPC   A268 = T07WPC  
 A774 = T08WPC   A139 = T12WPC   A144 = T01WPI   A758 = T02WPI  
 A506 = T05WPI   A274 = T07WPI   A592 = T08WPI   A427 = T12WPI

Figura 47 Representação das amostras de pellets com WPC e pellets com WPI

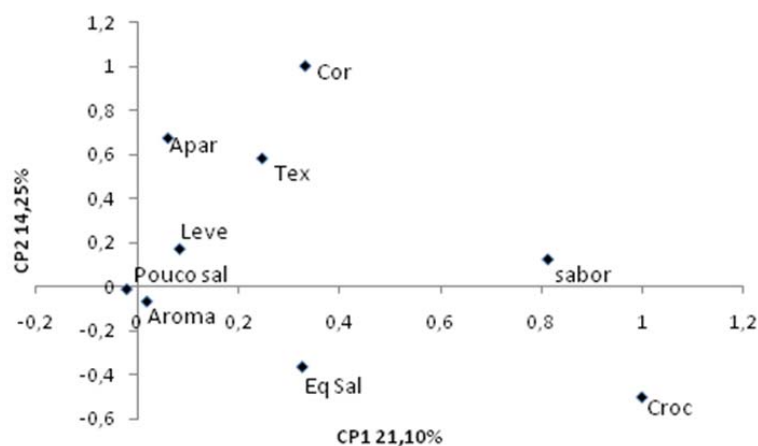
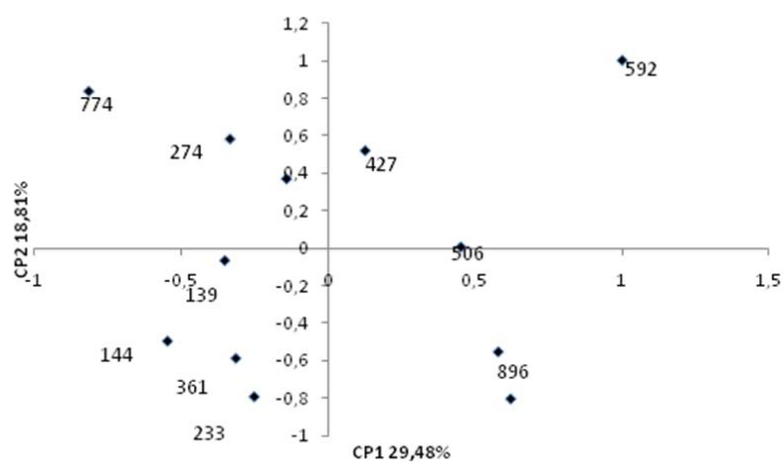


Figura 48 Representação dos atributos sensoriais que os consumidores dizem gostar dos pellets com WPC e dos pellets com WPI

Os atributos que os provadores citaram como menos gostar das amostras de pellets com WPC e pellets com WPI estão nas Figuras 49 e 50.



A361 = T01WPC   A233 = T02WPC   A896 = T05WPC   A268 = T07WPC  
 A774 = T08WPC   A139 = T12WPC   A144 = T01WPI   A758 = T02WPI  
 A506 = T05WPI   A274 = T07WPI   A592 = T08WPI   A427 = T12WPI

Figura 49 Representação das amostras de pellets com WPC e pellets com WPI



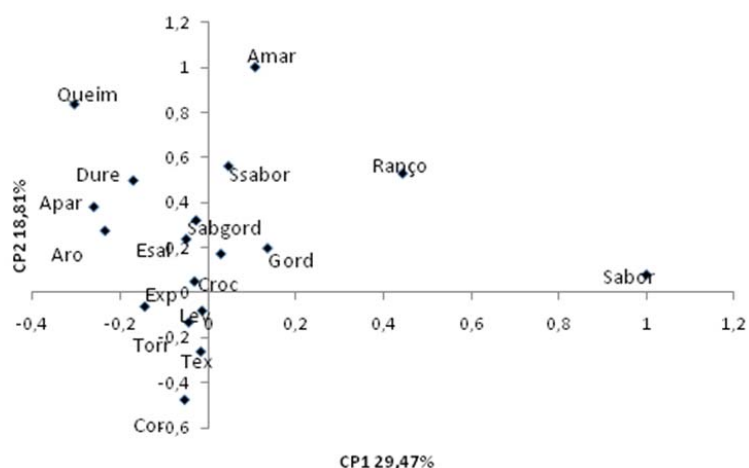


Figura 50 Representação dos atributos sensoriais que os consumidores dizem menos gostar dos pellets com WPC e dos pellets com WPI

A amostra 774 (17% WPC e 53,8°C), de acordo com os itens mencionados pelos provadores como não gostar, caracterizou-se, principalmente, pelo atributo queimado seguido da dureza e aparência. A amostra A274 (17% WPI e 53,8°C) teve os atributos dureza, aparência e aroma como os mais citados negativamente pelos provadores. Isso ocorreu, em virtude de menores níveis de expansão e de volume, também, a cor mais escura. A amostra A758 (5% WPI e 90°C) foi bastante relacionada, negativamente, ao sem sabor, sabor gorduroso, dureza e excesso de sal. Vale ressaltar que essa amostra não foi eleita entre as quatro de maior preferência. A amostra 427 (17% e 75°C) foi correlacionada aos atributos gordurosa, sem sabor e sabor gorduroso, e foi uma das menos preferidas pelos provadores. A amostra 506 (0,03% WPI, 75°C) está ligada em menor intensidade aos atributos ranço e gorduroso e, também, foi uma das menos preferidas. A amostra 592 (17% WPI, 96,2°C) foi caracterizada pelo ranço e o amargo, e mais nenhum atributo que desagradasse foi citado fortemente. As amostras 896 (0,03% WPC e 75°C) e 268 (17% WPC e 53,8°C)

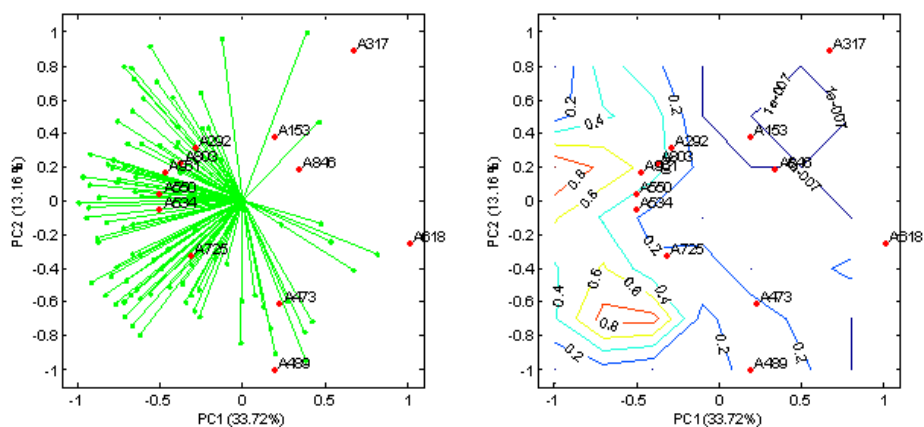
não foram relacionadas fortemente a nenhum atributo. Observa-se, aqui, um comportamento diferente, pois, a amostra 896 foi uma das mais preferidas (Gráfico 46), que justifica nenhum termo negativo ter se relacionado a mesma. Porém, a amostra 268, não foi uma das mais preferidas e mesmo assim nenhum termo foi relacionado negativamente à mesma. Este resultado pode sugerir que os consumidores não encontraram um termo ideal para defini-la, que nenhum atributo negativo tenha sido intenso ou mesmo que a amostra desagradou por um somatório equilibrado de atributos.

As amostras A144 (5% WPI, 60°C), A361 (5% WPC, 60°C) e A233 (5%WPC, 90°C) foram fracamente relacionadas aos atributos textura, cor e torrado, que não comprometeu a aceitação das amostras, já que estas foram três das quatro amostras mais preferidas pelos consumidores. A amostra A139 (17%WPC, 75°C), também, correlacionou-se com os atributos citados acima e, ainda, negativamente, com expansão e aroma e que pode ter contribuído para uma menor aceitação quando comparada às amostras A144, A361 e A233.

De uma forma geral, o atributo crocância foi o mais citado como gostar pelos provadores na aceitação dos pellets. Em uma escala inferior, a textura e o sabor, também, foram citados. Para o que os provadores citaram como não gostar, o atributo sabor foi o de maior frequência para todas as amostras de pellets.

#### **4.6.2 Avaliação sensorial dos snacks com WPC e WPI**

Por meio da Figura 51 observa-se o mapa de preferência interno dos snacks com WPC e dos snacks com WPI.



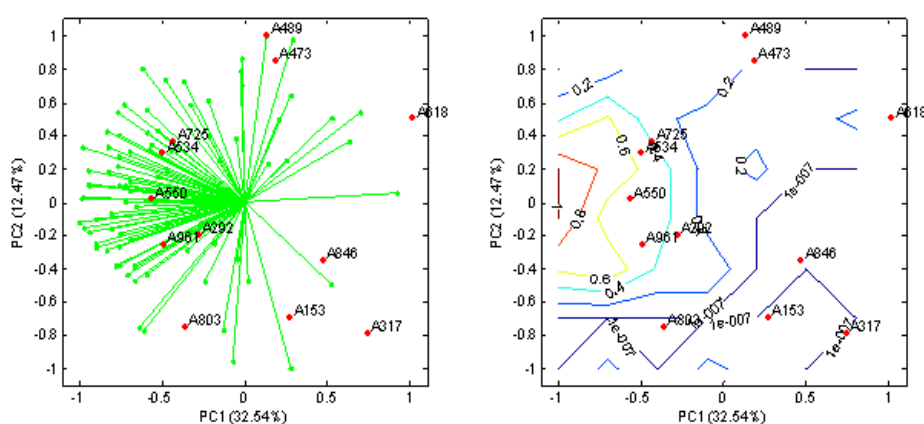
A550 = T01WPC    A803 = T02WPC    A317 = T04WPC    A961 = T05WPC  
 A153 = T07WPC    A846 = T12WPC    A292 = T01WPI    A725 = T02WPI  
 A618 = T04WPI    A534 = T05WPI    A473 = T07WPI    A489 = T12WPI

Figura 51 Mapa de preferência interno da aceitação global dos snacks com WPC e dos snacks com WPI

As amostras mais preferidas pelos provadores foram: A550 (4,1% WPC e 313rpm), A803 (4,1%WPC e 385rpm), A961 (0% WPC e 349rpm), A292 (4,1 % WPI e 313rpm), A534 (0 % WPI e 349 rpm) e depois mais abaixo, mas também preferida, a amostra A725 (4,1 % WPI e 349 rpm). Em comum, essas amostras são as que menos possuem WPC/WPI entre as amostras escolhidas para o teste sensorial. Quando se correlacionam os resultados obtidos aqui e outras análises físicas, observa-se que esses tratamentos apresentaram o maior índice de expansão radial (Figuras 23 e 34), menores densidades (Figuras 24 e 35) e menores diferenças de cor (Figuras 26 e 36). As amostras menos preferidas foram: A317 (23,9% WPC e 385 rpm), A618 (23,9% WPI e 385 rpm), A153 (14% WPC e 298 rpm), A846 (14% WPC e 349 rpm), A473 (14% WPI e 298 rpm) e A489 (14% WPI e 349 rpm). Pode-se observar que essas amostras menos preferidas possuem o maior teor de WPC/WPI e apresentaram, também,

menores expansões radiais, maiores densidade e maiores diferenças de cor quando comparadas às amostras mais aceitas.

A Figura 52 mostra o mapa de preferência interno da intenção de compra dos snacks com WPC e dos snacks com WPI.



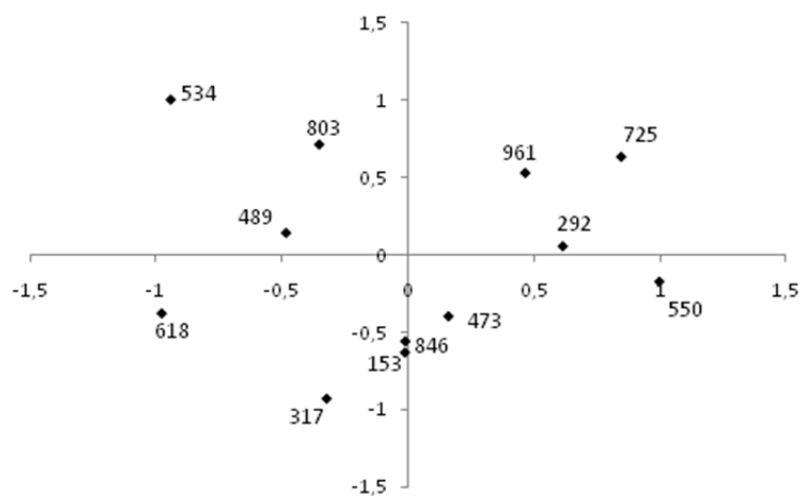
A550 = T01WPC    A803 = T02WPC    A317 = T04WPC    A961 = T05WPC  
 A153 = T07WPC    A846 = T12WPC    A292 = T01WPI    A725 = T02WPI  
 A618 = T04WPI    A534 = T05WPI    A473 = T07WPI    A489 = T12WPI

Figura 52 Mapa de preferência interno da intenção de compra dos snacks com WPC e dos snacks com WPI

Para a intenção de compra dos snacks, as amostras mais preferidas foram: A725 (4,1% WPI e 385 rpm), A534 (0% WPI e 349 rpm), A550 (4,1% WPC e 313 rpm), A292 (4,1 % WPI e 313 rpm) e A961(0% WPC e 349 rpm). As amostras mais preferidas para a intenção de compra foram às mesmas escolhidas para a aceitação global, exceção à amostra A725, escolhida aqui, e a amostra A803, melhor aceita na avaliação global. As amostras mais rejeitadas para a intenção de compra foram: A489 (14% WPI e 349 rpm ), A473 (14% WPI e 298 rpm), A618 (23,9% WPI e 385 rpm), A846 (14% WPC e 349 rpm),

A317 (23,9% WPC e 385 rpm), A153 (14% WPC e 298 rpm), e A803 (4,1% e 385 rpm). As mesmas amostras, menos aceitas na avaliação global, também, foram rejeitadas na intenção de compra acrescida da amostra A803. Os resultados indicam que os atributos sensoriais de um produto são determinantes na escolha da compra do mesmo.

As questões check-all-that-apply (CATA) também foram aplicadas ao teste de aceitação dos snacks, para uma melhor compreensão das características que influenciaram no comportamento do consumidor. As respostas dadas pelos provadores do que mais gostaram de cada amostra, foi transformada em coordenadas que estão expressas nas Figuras 53 e 54.



A550 = T01WPC    A803 = T02WPC    A317 = T04WPC    A961 = T05WPC  
 A153 = T07WPC    A846 = T12WPC    A292 = T01WPI    A725 = T02WPI  
 A618 = T04WPI    A534 = T05WPI    A473 = T07WPI    A489 = T12WPI

Figura 53 Representação das amostras de snacks com WPC e snacks com WPI

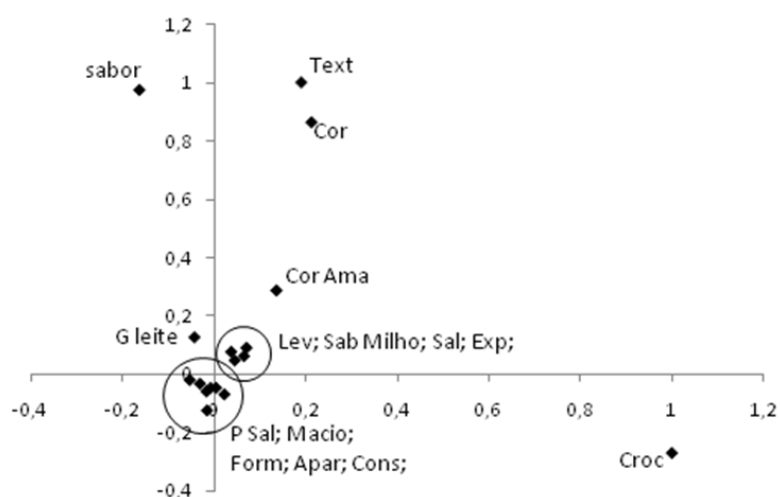


Figura 54 Representação dos atributos sensoriais que os consumidores dizem gostar dos snacks com WPC e dos pellets com WPI

A amostra A534 (0% WPI e 349rpm) e A803 (4,1%WPC e 385rpm) foram caracterizadas, positivamente, pelo atributo sabor. A amostra A489 (14% WPI e 349rpm), pouco preferida pelos consumidores, foi mais correlacionada, positivamente, pelo atributo gosto de leite. As amostras A618 (23,9%WPI e 385rpm) e A317 (23,9%WPC e 385rpm) não se destacaram em relação a nenhum atributo citado como gostar. As amostras A846 (14%WPC e 349rpm), A473 (14% WPI e 298rpm) e A153 (14%WPC e 298rpm) foram citadas, positivamente, pelas características pouco sal, macio, formato, aparência e consistência. A amostra 550 (4,1%WPC e 313rpm) foi bastante correlacionada ao atributo crocância, estando entre uma das mais preferidas. As amostras A292 (4,1%WPI e 313rpm), A961 (0%WPC e 349rpm) e A725 (4,1%WPI e 385rpm) caracterizaram, positivamente, com os atributos leve, sabor milho, sal, expansão e cor amarela, e as amostras A961 (0%WPC e 349rpm) e A725 (4,1%WPI e 385rpm) apresentaram, ainda, aspecto positivo em relação à textura e cor.

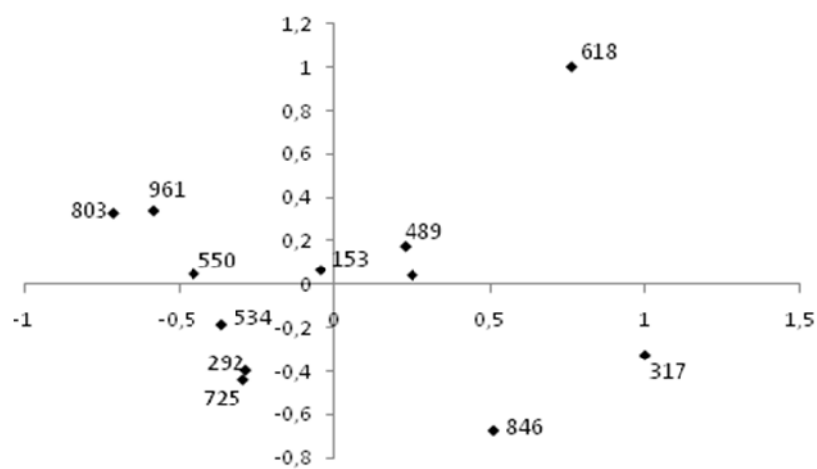
Os atributos sabor, textura, cor, cor amarela, leveza, sabor milho, sal e expansão foram as características mais relevantes para maior aceitação/preferência dos snacks.

Os gráficos 55 e 56 representam a resposta dos atributos em forma de coordenadas, o que os provadores menos gostaram nos snacks de WPC e snacks de WPI. A amostra 618 (23,9%WPC e 385rpm) foi fracamente relacionada pelos atributos queimado, crocante, cor, cor amarelo escuro, duro e gosto residual de leite. Porém, estes atributos foram fortemente correlacionados às amostras 153 (14%WPC e 298rpm), 489 (14% e 349rpm) e 473 (14%WPI e 298rpm). Essas amostras foram menos aceitas pelos provadores (Gráfico 46), que justifica vários atributos negativos estarem correlacionados às mesmas.

As amostras A803 (4,1%WPC e 385rpm), A961 (0%WPC e 349rpm), A550 (4,1%WPC e 313rpm), A534 (0%WPI e 349rpm), A292 (4,1%WPI e 313rpm) e A725 (4,1%WPI e 385rpm) caracterizaram-se, mas não de forma tão intensa quanto a A153 (14%WPC e 298rpm) aos aspectos negativos pouco sal, pouco sabor, sem sal, murcho, aroma, aspecto seco e amargo, entretanto, estes aspectos não comprometeram a aceitação das mesmas, à exceção da amostra A153 (14% e 298rpm). As amostras menos preferidas encontram-se distribuídas no lado direito do gráfico, onde o atributo mais citado como não gostar foi o sabor, principalmente, para a amostra A317 (23,9%WPC e 385rpm). Para as amostras A489 (14%WPI e 349rpm) e A473 (14%WPI e 298rpm), assim como para a amostra A153 (14%WPC e 298rpm), os atributos negativos foram queimado, crocância, cor, cor amarelo escuro, dureza, gosto residual de leite, textura e, ainda, gosto queimado, sendo estas características determinantes na aceitação, prejudicando o desempenho do produto. Assim como a aparência, característica citada negativamente para a amostra A618 (23,9%WPI e 385rpm).

Dê uma maneira geral, quanto maior foi a concentração de WPC/WPI nos snacks, menor foi a aceitação pelos consumidores, já que a proteína diminui

a expansão e a crocância e favorece as reações de escurecimento dos snacks. A variação de rotação do parafuso (rpm) utilizada não foi decisiva para a aceitação/preferência dos snacks pelos provadores.



A550 = T01WPC A803 = T02WPC A317 = T04 A961 = T05WPC  
 A153 = T07WPC A846 = T12WPC A292 = T01WPI A725 = T02WPI  
 A618 = T04WPI A534 = T05WPI A473 = T07WPI A439 = T12WPI

Figura 55 Representação das amostras de snacks com WPC e snacks com WPI



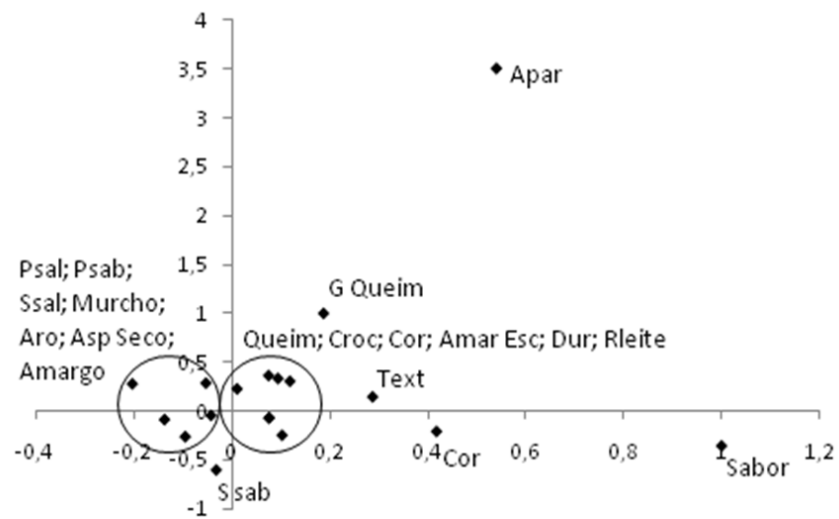


Figura 56 Representação dos atributos sensoriais que os consumidores dizem menos gostar dos snacks com WPC e dos pellets com WPI

## 5 CONCLUSÃO

Nas condições experimentais, em que foi realizado o presente trabalho, os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) o concentrado proteico de soro (WPC) e o isolado proteico de soro (WPI) apresentam altos valores de proteína e bons teores aminoacídicos, podendo ser utilizados para enriquecer snaks e pellets;
- b) a substituição de griz de milho pelo WPC e pelo WPI a 5%, produzem pellets com boas qualidades tecnológicas;
- c) altas temperaturas da 3ª zona do extrusor, combinados com alto teor de WPC/WPI, influenciam negativamente nas propriedades tecnológicas;
- d) a substituição do griz de milho pelo WPC/WPI, em todos os níveis, produzem pellets com maior teor de proteínas e cinzas e menor valor calórico;
- e) os pellets com 5% de WPC ou 5% de WPI apresentam boa aceitação global pelos provadores, igualando-se ao pellet padrão;
- f) concentrações de 4% a 14% de WPC/WPI produzem snaks com boas qualidades tecnológicas;
- g) variadas rotações do parafuso não influenciam nas análises tecnológicas dos snaks com WPC, porém, alteram as mesmas nos snaks com WPI.
- h) o incremento das formulações de snaks com WPC ou WPI aumenta os teores de proteína, cinzas e reduziu, ligeiramente, o valor calórico; snaks com 4,1% de WPC ou WPI tem a mesma aceitação pelos consumidores dos snaks só de milho;

## REFERÊNCIAS

ABOAGY, Y.; STANLEY, D. W. Thermoplastic extrusion of peanut flour by twin-screw extruder. **Canadian Institute of Food Science Technology**, Ottawa, v. 20, p. 148-153, 1987.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Regulamento técnico sobre ingestão diária recomendada (IDR) para proteína, vitamina e minerais. Disponível em: <[www.anvisa.br](http://www.anvisa.br)>. Acesso em: 21 out. 2010.

AGUILERA, J.M.; ROJAS, E. Rheological, Thermal and Microstructural Properties of Whey Protein-Cassava Starch Gels. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 61, n. 5, p. 962-966, Sept. 1996.

ALLEN, K. E.; CARPENTER, C. E.; WALSH, M. K. Influence of protein level and starch type on an extrusion-expanded whey product. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 42, n. 8, p. 953-960, Aug. 2007.

ALONSO, R. et al. The effect of extrusion cooking on mineral bioavailability in pea and Kidney bean seeds meals. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 94, p. 1-13, Nov. 2001.

ALTAN, A.; MCCARTHY, K. L.; MASKAN, M. Effect of screw configuration and raw material on some properties of barley extrudates. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 92, p. 377-382, June 2009.

ALVES, M. M. **Estrutura e comportamento reológico de gelatinas em associação com outras gomas alimentares**. 2001. 263 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, 2001.

ALVINA, M.; ARAYA, H. Rapid carbohydrate digestion rate produced lesser short-term satiety in obese preschool children. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 58, p. 637-642, Aug. 2004.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists.** Saint Paul, 1987

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists.** Saint Paul, 2000.

ANDERSON, R. A. et al. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 4-12, Jan. 1969.

ANTON, A. A.; LUCIANO, F. B. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review. **Ciencia y Tecnologia Alimentaria**, Galicia, v. 5, p. 245-251, July 2007.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jaboticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 897-905, out./dez. 2006.

ASCHERI, J. L. R. et al. Efeito de la formulación sobre la expansión y viscosidad de “snacks” (pellets) producidos por extrusión termoplástica. **Alimentaria**, Madrid, v. 268, n. 12, p. 111-117, Dez. 1995.

ASCHERI, J. L. R. Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos extrusados, para o consumo humano e animal.** Rio de Janeiro: [s. n.], 2007. Apostila

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO MILHO. **A dimensão do milho no mundo.** 2010. Disponível em: <<http://www.abramilho.com.br>>. Acesso em: 22 jun. 2010.

BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 5, p. 1334-1337, Sept. 1991.

BATH, D.; DUNBAR, J.; KING, J. Byproducts and unusual feedstuffs. **Feedstuffs**, Whitewater, v. 71, n. 31, p. 32-38, 1999.

BECHTEL, W. G. Gelatinization of starch during baking. **Baker's Digest**, Saint Paul, v. 33, p. 74, Dec. 1959.

BECKER, A.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Relevance of amylose-lipid complexes to the behaviour of thermally processed starches. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 53, p. 121-130, Apr. 2001.

BEVERIDGE, T.; JONES, L.; TUNG, M. A. Progel and gel formation and reversibility of gelation of whey, soybean and albumen protein gel. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 32, p. 307-313, Mar. 1984.

BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A. Kinetics of starch gelatinization during extrusion cooking. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, p. 764-766, May 1987.

BILIADERIS, C. G., MAURICE, T. J., VOSE, J. R. Starch gelatinisation phenomena studied by differential scanning calorimetry. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 45, n. 6, p. 1669-1680, Sept. 1980.

BLANSHARD, J. M. V. Starch granule structure and function: a physicochemical approach. In: GALLIARD, T. **Starch: properties and potential**. London: J. Willey, 1987. p. 16-54.

BOUVIER, J. M.; BONNEVILLE, R.; GOULLIEUX, A. Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness. **Agro Food Industry Hi-tech**, Milano, v. 8, n. 1, p. 16-19, Jan./Feb. 1997.

BOUVIER, J. M. Breakfast cereals. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing, 2001. p. 133-160.

BRASIL. Portaria n. 27 de 13 de janeiro de 1998. Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=97>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

BRONSTEIN, V. **Estudo dos parâmetros da ultrafiltração de permeado de soro de queijo fermentado por *Lactococcus lactis ssp lactis***. 1997. 80 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade de Campinas, Campinas, 1997.

BURRIOS, B. C.; YONG, L. A.; CARROAD, P. A. Kinetics of corn meal gelatinization at high temperature and low moisture. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, p. 1372, Sept. 1987.

CAI, W.; DIOSADY, L. L. Model for gelatinization of wheat starch in a twin-screw extruder. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, p. 872-887, July 1993.

CALLEGARO, M. G. K. et al. Determinação da fibra alimentar insolúvel, solúvel e total de produtos derivados do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, abr./jun. 2005.

CAL-VIDAL, J. Ultrafiltração de soro láctico e aproveitamento de seus componentes. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 203, p. 22-32, maio/jun. 1979.

CARVALHO, C. W. P.; MITCHELL, J. R. Effect of sucrose on starch conversion and glass transition of nonexpanded maize and wheat extrudates. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 3, p. 342-348, Feb. 2001.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados (3g) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, set./out. 2002.

CARVALHO, W. P. C. et al. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: effect of particle size on the extrusion of corn meal. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 98, n. 1, p. 103-109, May 2010.

CASE, S. E.; HAMANN, D. D.; SCHWAETZ, S. J. Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat and based products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 69, n. 4, p. 401-404, Feb. 1992.

CASTRO, A. G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Bobadela: Instituto Piaget, 2002. 295 p.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2003.

CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. 224 p. (Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v.1).

CHANG, Y. K. et al. Influence of extrusion condition on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 189-203, 2001.

CHAVES, J. B. P.; SPROESSER, R. L. **Práticas de laboratório de análise sensorial e alimentos e bebidas**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 81 p.

CHEFTEL, J.; CUQ, J.; LORIENT, D. **Proteínas alimentarias**: bioquímica, propriedades funcionales, valor nutricional, modificações químicas. Zaragoza: Acribia, 1989. 346 p.

CHEN, J. et al. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, n. 1, p. 84-89, Jan. 1991.

CHIANG, B. Y.; JOHNSON, J. A. Gelatinization of starch in extruded products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 54, n. 3, p. 436-443, July 1976.

CHINNASWAMY, R.; BHATTACHARYA, K. R. Studies on expanded rice: physicochemical basis of varietal differences. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, p. 1600-1603, Nov. 1983.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 65, n. 2, p. 138-143, Oct. 1987.

CHOUDHURY, G. S.; GAUTAM, A. Comparative study of mixing elements during twin-screw extrusion of rice flour. **Food Research International**, Ontario, v. 31, n. 1, p. 7-17, Jan. 1998.

CHRISTOPHERSON, A. T.; ZOTTOLA, E. A. The use of whey permeates as starter media in cheese production. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 72, n. 11, p. 2862-2868, May 1989.

CIACCO, C. F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciências e Tecnologia, [1982]. 151 p. (Tecnologia Agroindustrial, 7).

COHEN, S.A.; MICHAUD, D. P. Synthesis of a fluorescent derivatizing reagent, 6-Aminoquinolyl-N-Hydroxysuccinimidyl Carbamate and its application for the analysis of hydrolysate amino acids via high-performance liquid chromatography. **Analytical Biochemistry**, Massachusetts, v. 211, p. 279-287, 1993.



COLONNA, P. et al. Flow, mixing and residence time distribution of maize starch within a twin-screw extruder with a longitudinally-split barrel. **Journal of Cereal Science**, Oxford, v. 1, n. 2, p. 115-125, Apr. 1983.

COLONNA, P.; MERCIER, C. Macromolecular modification of manioc starch components by extrusion-cooking with and without lipids. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 3, p. 87-108, May 1983.

COLONNA, P.; TAYEB, J.; MERCIER, C. Extrusion cooking of starch and starchy products. In: MERCIER, P. C.; LINKO, J. M.; HARPER, J. M. (Ed.). **Extrusion cooking**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1989. p. 247-319.

CONDACK, J. **Ultrafiltração do soro de queijo**: parâmetros operacionais e utilização do concentrado protéico na fabricação de requeijão cremoso. 1993. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.

DALLAS, P.; LAGRANGE, V. Aplicações de derivados de soro em produtos lácteos. **Indústria de Laticínios**, São Paulo, v. 2, n. 13, p. 49-51, 1998.

DELANEY, R. A. M. Composition properties and uses of whey protein concentrates. **Journal of the Society of Dairy Technology**, Oxford, v. 29, n. 2, p. 91-101, Apr. 1976.

DELLA VALLE, G. et al. Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behaviour in extrusion. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 31, n. 3, p. 277-296, Feb. 1997.

DEWIT, J. N.; KLARENBECK, G. Effects of various heat treatments on structure and solubility of whey proteins. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 67, p. 2701, Nov. 1984.

DIETARY REFERENCE INTAKES. 2005. Disponível em: <[www.nap.edu](http://www.nap.edu)>. Acesso em: 23 set. 2010.

DING, Q. B. et al. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 3, p. 283-289, Feb. 2005.

DOGAN, H.; KARWE, M. V. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International**, London, v. 9, n. 2, p. 101-114, Apr. 2003.

DONOVAN, J. W. Phase transitions of starch: water system. **Biopolymers**, Hoboken, v. 18, n. 2, p. 263-275, Feb. 1979.

DONOVAN, M.; MULVIHILL, D. M. Effects of chemical modification and sodium dodecyl sulphate binding on the thermostability of whey proteins. **Irish Journal of Food Science and Technology**, Dublin, v. 11, n. 1, p. 77-85, 1987.

DOOLEY, L.; LEE, Y.; MEULLENET, J. The application of check-all-that-apply (CATA) consumer profiling to preference mapping of vanilla ice cream and its comparison to classical external preference mapping. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 21, n. 4, p. 394-401, Jun. 2010.

DUARTE, G.; CARVALHO, C. V. P.; ASCHERI, J. L. R. Effect of soybean hull, screw speed and temperature on expanded maize extrudates. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 205-212, July/Sept. 2009.

DYBING, S. T.; SMITH, D. E. Relation of chemistry and processing procedures to whey protein functionality: a review. **Cultured Dairy Products Journal**, Washington, v. 26, n. 1, p. 4-12, 1991.

DZIEZAK, J. D. Single- and twin-screw extruders in food processing. **Food Technology**, Chicago, v. 43, n. 4, p. 163-174, 1989.

EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. (Ed.). **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p. 51-74.

EL-DASH, A. A. **Termoplastic extrusion of food, theory and techniques**. Campinas: UNICAMP, 1982. 81 p.

ELGADIR, M. A. et al. Thermal behavior of selected starches in presence of other food ingredients studied by differential scanning calorimetry (dsc)–review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Malden, v. 8, p. 195-201, July 2009.

EVANS, I. D. An investigation of starch/surfactant interactions using viscosimetry and differential scanning calorimetry. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 38, n. 7, p. 227-235, 1986.

FAN, J. T.; MITCHELL, J. R.; BLANSHARD, J. M. V. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: I. The role of the glass transition in determining product density and shape. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 31, p. 55-65, Jan. 1996.

FANCELLI, A. L.; LIMA, V. A. **Milho: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciências e Tecnologia, 1980. 112 p. (Extensão Agroindustrial).

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C.; SEIB, P. A. Functionality of grain. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 27, n. 5, p. 212-216, May 1982.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Amino-acid content of food and biological data on proteins**. Rome, 1970. (FAO Nutritional Studies, 24).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Necessidades de energia y de proteínas**. Ginebra, 1973. 138 p. (Informes Técnicos, n. 52).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Protein quality evaluation**: report of a joint. Rome, 1990.

FENNEMA, O. R. **Food chemistry**. 3. ed. New York: M. Dekker, 1996. 1067 p.

FERNANDES, M. S. et al. Produtos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1495-1501, out. 2002.

FERREIRA, T. A. P. C. **Avaliação nutricional do amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) extrusado em diferentes condições de umidade**. 1999. 157 p. Tese (Doutorado em Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

FORSUM, E.; HAMBRAEUS, L. Nutritional and biochemical studies of whey products. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 60, n. 3, p. 371-377, Mar. 1977.

FOX, P. F. et al. **Fundamental of cheese science**. São Paulo: Springer, 2000. 432 p.

FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. **Advanced dairy chemistry**: 1 proteins. New York: Kluwer, 2003. 1346 p.

FUKUOKA, M.; OHTA, K. I.; WATANABE, H. Determination of the terminal extent of starch gelatinisation in a limited water system by DSC. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 53, n. 1, p. 39-42, June 2002.

GALLY, J. A. Structure of immunoglobulin. In: SELA, M. (Ed.). **The antigen**. New York: Academic, 1973. v. 1, p. 162.

GAMBLE, P.; RICE, P.; SELMAN, J. D. Relation between oil uptake and moisture content loss during frying of potato slices from C.V. Record U. K. tubers. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 22, p. 233-241, June 1987.

GASTON, A. et al. Application of a check-all that-apply question to the development of chocolate milk desserts. **Journal of Sensory Studies**, Westport, v. 25, p. 67-86, July 2010.

GHIASI, K.; HOSENEY, R.C.; VARRIANO-MARSTON, E. Effects of flour components and dough ingredients on starch gelatinization. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 60, p. 58-61, 1983.

GOGOI, B. K.; YAM, K. L. Relationships between residence time and process variables in a corotating twin- screw extruder. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 21, n. 2, p. 177-196, 1994.

GOMEZ, M. H.; AGUILERA, J. M. Changes in the starch fraction during extrusion cooking of corn. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, p. 378-381, Mar. 1983.

GRINBERG, V. Y. A.; TOLSTOGUZOV, V. B. Thermodynamic incompatibility of protein and polysaccharides in solutions. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 11, p. 145-158, Apr. 1997.

GUTKOSKI, L. C. **Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade**. 1997. 241 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

GUTKOSKI, L. C. Extrusão de produtos de aveia. In: GUTKOSKI, L. C.; PEDÓ, I. **Aveia**: composição química, valor nutricional e processamento. São Paulo: Varela, 2000. p. 103-169.

GUY, R. Snack foods. In: GUY, R. (Ed.). **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead, 2001. v. 8, p. 161-181.

HARPER, J. M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC, 1981. v. 1, p. 7-19.

HARPER, W. J.; ZADOW, J. Heat-induced changes in whey protein concentrates. **New Zealand Journal of Dairy Science and Technology**, Hamilton, v. 19, p. 229, 1984.

HAUCK, B. W. Control of process variables in extrusion-cooking. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 26, n. 4, p. 170-173, 1981.

HILL, S. L.; BREW, K. Lactose synthetase. **Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology**, New York, v. 43, p. 411-490, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.  
**Levantamento sistemático da produção agrícola: milho**. 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa>>. Acesso em: 23 jun. 2010.

JELLEN, P. Industrial whey processing technology: an overview. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 27, n. 4, p. 658-661, July 1979.

JENG-YUNE, L.; YEH, A. Effects of starch properties on rheological characteristics of starch/meat complexes. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 57, p. 287-294, May 2003.

JU, Z.; KILARA, A. Effects of preheating properties of aggregates and cold-set gels of whey protein isolate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, p. 3604-3608, Aug. 1998.

KELLA, N. K. D.; KINSELLA, J. E. Structural stability of  $\beta$ -lactoglobulin in the presence of kosmotropic salts, a kinetic and a thermodynamic study. **International Journal of Peptide and Protein Research**, Copenhagen, v. 32, p. 396-405, Nov. 1988.

KILARA, A.; SHARKASI, T.Y. Effects of temperature on food proteins and its implications on functional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 23, n. 4, p. 323-395, May 1986.

KIM, C. H.; MAGA, J. A. Properties of extruded whey protein concentrate and cereal flour blends. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**, London, v. 20, p. 311-318, 1987.

KINSELLA, J. E. Functional properties of protein foods: a survey. **CRC Critical Review Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 17, n. 3, p. 219-280, Oct. 1976.

KINSELLA, J. E. Texturized proteins: fabrication, flavoring and nutrition. **CRC Critical Review Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 10, n. 2, p. 147-207, 1978.

KINSELLA, J. E.; WHITEHEAD, D. M. Proteins in whey: chemical, physical, and functional properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, San Diego, v. 33, p. 343-425, 1989.

KIRBY, A.R. et al. An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 8, n. 4, p. 247-272, Nov. 1988.

KROH, L.; WESTPHAL, G. Die reaction in labensmittel. **Chemmische Gesellschaft**, Frankfurt, v. 35, p. 73-80, 1989.

LADO, J. et al. Application of a check-all-that-apply question for the evaluation of strawberry cultivars from a breeding program. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 90, p. 2268-2275, July 2010.

LAI, Y. Z.; SARKANEN, K. V. Kinetic studies on the alkaline degradation of amylose. **Journal of Polymer Science**, New York, v. 28, n. 1, p. 15-26, 1969. Part B.

LARSSON, I.; ELIASSON, A. C. Anneling of starch at an intermediate water content. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 43, n. 6, p. 227-231, 1991.

LAUNAY, B.; KONE, T. Twin screw extrusion cooking of corn starch: flow properties of starch pastes. In: **THERMAL processing and quality of food**. London: Elsevier, 1984. p. 54-56.

LAWTON, B. J.; HENDERSON, G. A.; DERLATSKA, E. J. The effects of extruder variables on the gelatinization of corn starch. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, Ottawa, v. 50, n. 2, p. 168-172, Apr. 1972.

LEITÃO, R. F. F. **Tecnologia de macarrão**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1990. 71 p.

LI, P. X.; CAMPANELLA, O. H.; HARDACRE, A. K. Using an in-line slit-die viscosimeter to study the effects of extrusion parameters on corn melt rheology. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 81, n. 1, p. 70-76, June 2004.

LINKO, P.; COLONNA, P.; MERCIER, C. HTST extrusion of cereal based materials. In: POMERANZ, Y. **Advances in cereal sciences and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. v. 4, p. 145-235.



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

JANSEN, G. R.; HARPER, J. M. Application of low-cost extrusion cooking to weaning foods in feeding programmes. **Food, Nutrition and Agriculture**, Roma, v. 6, n. 2, p. 15-23, 1980.

MACFIE, H. J. et al. Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, Westport, v. 4, n. 2, p. 129-148, Sept. 1989.

MARSHALL, K. R. Industrial isolation of milk proteins: whey proteins. In: KINSELLA, J. E.; WHITEHEAD, D. M. Proteins in whey: chemical, physical, and functional properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, San Diego, v. 33, p. 343-425, 1989.

MASON, W. R.; HOSENEY, R. C. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 63, n. 5, p. 436-441, May 1986.

MATTHEY, F.P.; HANNA, M. A. Physical and functional properties of twin-screw extruded whey protein concentrate-corn starch blends. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 30, p. 359-366, June 1997.

MEISTER, K. R. Dietary fiber: a report by the American Council on Science and Health. In: CASTRO, A. G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003.

MELLO, E. M. **Obtenção e caracterização de concentrado protéico de soro de queijo por ultrafiltração**. 1989. 118 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade de Campinas, Campinas, 1989. 118 p.

MERCIER, C. et al. Formation of amylose-lipid complexes by twin-screw extrusion cooking of manioc starch. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 57, n. 1, p. 4-9, 1980.

MERCIER, C. et al. Structural modification of various starches by extrusion cooking with a twin-screw French extruder. In: BLANSHARD, J. M. V.; J. R. MITCHELL, J. R. (Ed.). **Polysaccharides in foods**. Boston: [s. n.], 1979. p. 152-170.

MERCIER, C.; FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 52, n. 3, p. 283-297, May/June 1975.

MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. 2<sup>nd</sup>. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471 p.

MISHRA, S.; RAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 20, n. 5, p. 557-566, July 2006.

MODLER, H. W. et al. Economic and technical aspects of feeding whey to livestock. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 838-855, May 1980.

MORARU, C. I.; KOKINI, J. L. Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Malden, v. 2, n. 4, p. 147-165, Oct. 2003.

MORR, C. V. Composition, physicochemical and function properties of reference whey protein concentrate. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 5, p.1406-1411, Sept. 1985.

MORR, C. V. Functionality of whey proteins. **Journal of Dairy Science & Technology**, New Jersey, v. 14, p. 185, 1979.

MORRIS, E. D. Mixed polymer gels. In: HARRIS, P. (Ed.). **Food gels**. London: *Elsevier*, 1990. p. 291-359.

MUNHOZ, M. P.; WEBER, F. H.; CHANG, Y. K. Influência de hidrocolóides na textura de gel de amido de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 403-406, jul. /set. 2004.

NICHOLS, J.; MORR, C. V. Spherosil-S ion exchange process of preparing whey protein concentrate. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 3, p. 610-614, May 1985.

OLKKU, J.; RHA, C. Gelatinisation of starch and wheat flour starch: a review. **Food Chemistry**, London, v. 3, n. 4, p. 293-317, Oct. 1978.

OLSSON, C.; STANDING, M.; HERMANSSON, A. M. Rheological influence of non-gelling amylopectin on  $\beta$ -lactoglobulin gel structures. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 14, n. 5, p. 473-483, Sept. 2000.

OBATOLU VERONICA, A.; OMUETI OLUSOLA, O.; ADEBOWALE, E. A. Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 29, p. 149-161, Apr. 2006.

ONWULATA, C. I. et al. Glycemic potential of extruded Barley, Cassava, Corn, and Quinoa Enriched With whey proteins and cashew pulp. **International Journal of Food Properties**, Philadelphia v. 13, n. 2, p. 338-359, Mar. 2010.

ONWULATA, C. I. et al. Physical properties of extruded products as affected by cheese whey. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 63, n. 5, p. 814-818, Sept. 1998.

ONWULATA, C. I. et al. Co-extrusion of Dietary Fiber and Milk Proteins in Expanded Corn Products. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 34, p. 424-429, 2001.

ONWULATA, C. I.; KONSTANCE, R. P. Viscous properties of taro flour extruded with whey proteins to simulate weaning foods. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 26, p. 179-194, Apr. 2002.

OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F. R.; STANLEY, S. W. Physico-chemical changes in corn starch as a function of extrusion variables. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 60, p. 319-324, Mar. 1983.

PACE, C. N. The stability of globular protein. **Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology**, Boca Raton, v. 3, n. 1, p. 1-43, May 1975.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Circular técnica, n.75. Disponível em: <[www.embrapa.com.br](http://www.embrapa.com.br)>. Acesso em: jun. 2006.

PAOLUCCI, A. A. P. **Formulação de um meio de cultura à base de soro de queijo para produção de *Lactococcus lactis ssp lactis***. 1991. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.

PELLEGRINO, A. M. Q. **Estudos dos mecanismos envolvidos na precipitação das proteínas do soro de queijo com amido em reator de batelada**. 1987. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade de Campinas, Campinas, 1987.

PEPPER, D.; PAIN, L. H. Concentration of whey by reverse osmosis. **Bulletin International Dairy Federation**, Brussels, v. 212. p. 25, 1987.

PINTADO, M. E.; MACEDO, A. C.; MALCATA, F. X. Review: technology, chemistry and microbiology of whey cheese. **Food Science and Technology International**, London, v. 7, n. 2, p. 105-116, Apr. 2001.

PIRES, C. V. et al. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 179-187, jan./abr. 2006.

POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals a renewale resource**: theory and practice. Minesota: American Association of Cereal Chemists, 1982.

QUAYSON, E. T.; AYERNOR, G. S. Non-enzymatic browning and estimated acrylamide in roots, tubers and plantain products. **Food Chemistry**, London, v. 105, n. 4, p. 1525-1529, May 2007.

RAGAEI, S.; ABDEL-AAL, E. S. M. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, London, v. 95, n. 1, p. 9-18, Mar. 2006.

RANSEN, C.H.; CLARK, J. P. A viscosity model for a cooking dough. **Journal of Food Process Engineering**, Westport, v. 2, n. 1, p. 39-64, Jan. 1978.

RATNAYAKE, W. S.; JACKSON, D. S. A new insight into the gelatinization process of native starches. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 67, n. 4, p. 511-529, Feb. 2007.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: E. Blucher, 2007. 184 p.

RICHARDS, N. S. P. S. Emprego racional do soro láctico. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 54, n. 304, p. 67-69, maio/jun. 1997.

ROSSEN, J. L.; MILLER, R. C. Food extrusion. **Food Technology**, Chicago, v. 27, n. 8, p. 46-53, 1973.

ROSSI, M.; PERI, C. Effects of extrusion cooking on structural and functional characteristics of sunflower protein. In: LINKO, P. et al. Food engineering and processing applications. **Journal of Applied Science Publishers**, London, v. 2, p. 197-209, 1980.

ROUDAUT, G. et al. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 13, n. 6/7, p. 217-227, June/July 2002.

ROY, D.; GOULET, J.; DUY, A. L. Continuous production of lactic acid from whey permeate by free and calcium alginate entrapped *Lactobacillus helveticus*. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 70, n. 3, p. 506-513, Mar. 1987.

RYU, G. H.; WALKER, C. E. The effects of extrusion conditions on the physical properties of wheat flour extrudates. **Starch**, Weinheim, v. 47, n. 1, p. 33-36, 1995.

SASAKI, T.; YASUKI, T.; MATSUKI, J. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of starch from waxy and nonwaxy wheat and their seeds. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 77, p. 58-63, Jan./Feb. 2000.

SCHMIDT, R.; PACKARD, V. S.; MORRIS, H. Effect of processing on whey protein functionality. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 67, n. 11, p. 2723-2733, Nov. 1984.

SCHULER, E.W. Twin-screw extrusion cooking systems for food processing. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 31, n. 6, p. 413-416, 1986.

SEBIO, L.; CHANG, Y. K. Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. **Nahrung**, Berlin, v. 44, n. 2, p. 96-101, Mar. 2000.

SGARBIERI, V. C. Physiological-functional properties of milk whey proteins. **Revista da Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 397-405, Oct./Dec. 2004.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos**: propriedades, degradações, modificações. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.

SILVA, M. C.; CARVALHO, C. W. P.; ANDRADE, C. T. The effects of water and sucrose contents on the physicochemical properties of non-directly expanded rice flour extrudates. **Ciência e tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 661-666, July/Sept. 2009.

SILVA, M. C. **Extrusão de farinha de arroz**: efeito da água e sacarose. 2004. 134 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, R. F. **Extrusão termoplástica de farinha de arroz com café torrado e moído e sua utilização em produtos de panificação**. 2006. 166 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

SINGH, B.; SEKHON, K. S.; SINGH, N. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behavior and product characteristics of rice. **Food Chemistry**, London, v. 100, n. 1, p. 198-202, 2007.

SINGH, R. P. Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. **Food Technology**, Chicago, v. 49, n. 4, p. 134-137, 1995.

SINGH, S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 42, n. 8, p. 916-929, Aug. 2007.

SMITH, O. B. Extrusion and forming: creating new foods. **Food Engineering**, New York, v. 47, n. 7, p. 48-50, 1976.

SRIBURI, P.; HILL, S. E. Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or Ph. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 35, n. 2, p. 141-154, Mar. 2000.

TAIWO, K. A.; BAIK, O. D. Effects of pre-treatment on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes. **LWT - Food Science and Technology on ScienceDirect**, London, v. 40, n. 4, p. 661-668, May 2007.

TANANUWONG, K.; REID, D. S. DSC and NMR relaxation studies of starch-water interactions during gelatinization. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 58, n. 3, p. 345-358, Nov. 2004.

TANG, H. R.; GODWARD, J., HILLS, B. The distribution of water in native starch granules – a multinuclear NMR study. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 43, n. 4, p. 375-387, Dec. 2000.

TEBALDI, V. M. R. **Elaboração de bebida láctica de soro de ricota e extrato solúvel de soja**. 2005. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

TOLSTOGUZOV, V. B. Functional properties of protein-polysaccharide mixtures. In: HILL, S. E.; LEDWARD, D. A.; MITCHELL, J. R. (Ed.). **Functional properties of food macromolecules**. 2<sup>nd</sup> ed. Maryland: Aspen, 1998.

TORRES, C. C.; BRANDÃO, S. C. C.; PINHEIRO, A. J. R. Desenvolvimento de bebidas de baixo custo com soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 44 n. 261-266 p. 71-84, 1989.

TRIBELHORN, R. E.; HARPER, J. M. Extruder : cooker equipment. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 25, n. 4, p. 154-156, Apr. 1980.



TUFVESSON, F.; WAHLGREN, M.; ELIASSON, A. C. Formation of amylose-lipid complexes and effects of temperature treatment. **Starch/Starke**, Weinheim, v. 55, p. 61-71, Feb. 2003.

U.S. DAIRY EXPORT COUNCIL. **Whey exports (metric tons)**. 2010. Disponível em: <<http://usdec.org.br>>. Acesso em: 22 jun. 2010.

VALLÈS PÀMIES, B. et al. Understanding the texture of low moisture cereal products: part I mechanical and sensory measurements of crispness. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, n. 11, p. 1679-1685, Sept. 2000.

VAN DEN EINDE, R. M. et al. The effect of thermomechanical treatment on starch breakdown and the consequences for process design. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 55, n. 1, p. 57-63, Jan. 2004.

VILAS BOAS, E. V. B. **Alimentos e nutrientes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2008. 68 p. (Especialização à distância: Nutrição humana e saúde).

VILAS BOAS, E. V. B. **Avaliação nutricional de alimentos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 53 p. (Especialização à distância: Nutrição humana e saúde).

VILELA, E. R. **Produção, caracterização e extrusão de farinha de guandu**. 1983. 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1983.

VILELA, E. R. Tecnologia e qualidade do milho. In: PEREIRA, J. **Tecnologia e qualidade de cereais (arroz, trigo, milho e aveia)**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 130 p. (Especialização à distância: Tecnologia e controle de qualidade de alimentos de origem vegetal). (Textos Acadêmicos).

VIOTTO, W. H. **Ultrafiltração de soro doce de queijo minas frescal**: efeito de pré-tratamento do soro no desempenho da membrana e na composição e solubilidade do concentrado protéico de soro. 1993. 212 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Campinas, Campinas, 1993.

WATSON, C. A.; JOHNSON, J. A. Studies on the gelatinization of starch I: competition for water by protein and cellulose derivatives. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 30, n. 3, p. 450-456, May 1965.

WATSON, S. A.; RAMSTED, P. E. **Corn: chemistry and technology**. Saint Paul: Minn, 1987. 605 p.

WHALEN, P. J. et al. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 42, n. 6, p. 469-475, 1997.

WALSTRA, P. T. J. **Dairy technology: principles of milk properties and processes**. New York: M. Dekker, 1999. p. 189-199.

WALZEM, R. L. **Health enhancing properties of whey proteins and whey fractions, applications monograph**. Arlington: Dairy Export Council, 1999. 8 p.

WEBB, P. A.; ORR, C. **Analytical methods in fine particle technology**. [S. l.]: Micromeritics Instrument Corporation, 1997. 301 p.

WEBB, P. A. **Volume and density determinations for particle technologist**. [S. l.]: Micromeritics Instrument Corporation, 2001. 16 p.

YOSHIMURA, M.; TAKAYA, T.; NISHINARI, K. Effects of xyloglucan on the gelatinization and retrogradation of corn starch as studied by rheology and differential scanning calorimetry. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 13, n. 2, p. 101-111, Mar. 1999.

YOUNG, V. R.; PELLETT, P. L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 59, p. 1203-1212, May 1994. Suplemento.

**ANEXO A**

Figura 1A	Modelo de ficha de resposta da avaliação sensorial dos pellets, utilizando escala estruturada hedônica de nove pontos para o teste de preferência, e escala estruturada de sete pontos para a intenção de compra.....	259
Figura 2A	Modelo de ficha de resposta da avaliação sensorial dos snacks, utilizando-se a escala estruturada hedônica de nove pontos para o teste de preferência, e escala estruturada de sete pontos para a intenção de compra.....	260



*Agroindústria de Alimentos*

**TESTE DE PREFERÊNCIA**

**NOME:**

**DATA:**

**AMOSTRA:**

Você está recebendo uma amostra de **PELLETS**. Por favor, avalie o quanto você gostou da amostra

Desgostei  Não  Gostei  
 extremamente  gostei  extremamente  
 nem   
 desgostei

O que você mais gostou? \_\_\_\_\_

O que você mais desgostou? \_\_\_\_\_

Você compraria este produto?

Definitivament  Talvez  Definitivamente  
 e não  comprasse  compraria  
 compraria  talvez não   
 comprasse

**Figura 1A** Modelo de ficha de resposta da avaliação sensorial dos pellets, utilizando-se a escala hedônica estruturada de nove pontos para o teste de preferência, e escala estruturada de sete pontos para a intenção de compra.



## ANEXO B

Tabela 1B	Análise de variância para a densidade absoluta (DA) e densidade dos pellets não-expandidos (DNE) com WPC.....	264
Tabela 2B	Análise de variância para a densidade dos expandidos (DE) e diferença de cor ( $\Delta E$ ) dos pellets com WPC.....	264
Tabela 3B	Análise de variância para a frequência de rupturas estruturais (Nsr) e força específica de rupturas estruturais (Fsr) dos pellets com WPC .....	265
Tabela 4B	Análise de variância para a força de punctura (Fp) e índice de crocância (Wc) dos pellets com WPC.....	265
Tabela 5B	Análise de variância para o índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) dos pellets com WPC.....	266
Tabela 6B	Análise de variância para a viscosidade à frio (Vfrio) e viscosidade máxima (Vmáx) durante o ciclo de aquecimento (Vmáx) dos pellets com WPC.....	266
Tabela 7B	Análise de variância para a viscosidade mínima à 95°C (Vmin) e breakdown (Break) dos pellets com WPC.....	267
Tabela 8B	Análise de variância para o setback (Setb) e grau de conversão do amido (GCA) dos pellets com WPC.....	267
Tabela 9B	Análise de variância para a densidade absoluta (DA) e densidade dos não-expandidos (DNE) pellets com WPI .....	268
Tabela 10B	Análise de variância para a densidade dos expandidos (DE) e diferença de cor ( $\Delta E$ ) dos pellets com WPI.....	268

Tabela 11B	Análise de variância para a frequência de rupturas estruturais (Nsr) e força específica de rupturas (Fsr) dos pellets com WPI.....	269
Tabela 12B	Análise de variância para a força de punctura (Fp) e índice de crocância (Wc) dos pellets com WPI.....	269
Tabela 13B	Análise de variância para o índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) dos pellets com WPI.....	270
Tabela 14B	Análise de variância para a viscosidade à frio (Vfrio) e viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento (Vmáx) dos pellets com WPI.....	270
Tabela 15B	Análise de variância para a viscosidade mínima à 95°C (Vmín) e breakdown (Break) dos pellets com WPI.....	271
Tabela 16B	Análise de variância para o setback (Setb) e grau de conversão do amido (GCA) dos pellets com WPI.....	271
Tabela 17B	Análise de variância para o índice de expansão radial (IER) e densidade (Den) dos snacks com WPC.....	272
Tabela 18B	Análise de variância para a diferença de cor ( $\Delta E$ ) e frequência de rupturas estruturais (Nsr) dos snacks com WPC.....	272
Tabela 19B	Análise de variância para a força de rupturas estruturais (Fsr) e força de punctura (Fp) dos snacks com WPC.....	273
Tabela 20B	Análise de variância para índice de crocância (Wc) e índice de solubilidade em água (ISA) dos snacks com WPC.....	273



Tabela 21B	Análise de variância para índice de absorção de água (IAA) e viscosidade à frio (Vfrio) dos snacks com WPC.....	274
Tabela 22B	Análise de variância para a viscosidade máxima no final da rampa de aquecimento (Vmáx) e viscosidade mínima (Vmín) dos snacks com WPC.....	274
Tabela 23B	Análise de variância para o breakdown (Break) e setback (Setb) dos snacks com WPC.....	275
Tabela 24B	Análise de variância para o índice de expansão radial (IER) e densidade (Den) dos snacks com WPI.....	275
Tabela 25B	Análise de variância para a diferença de cor ( $\Delta E$ ) e frequência de rupturas estruturais (Nsr) dos snacks com WPI.....	276
Tabela 26B	Análise de variância para a força de ruptura estrutural (Fsr) e força de punctura (Fp) dos snacks com WPI.....	276
Tabela 27B	Análise de variância para o índice de crocância (Wc) e índice de solubilidade em água (ISA) dos snacks com WPI.....	277
Tabela 28B	Análise de variância para o índice de absorção de água (IAA) e viscosidade à frio (Vfrio) dos snacks com WPI.....	277
Tabela 29B	Análise de variância para viscosidade máxima no final da rampa de aquecimento (Vmáx.) e viscosidade mínima (Vmín.) dos snacks com WPI.....	278
Tabela 30B	Análise de variância para o breakdown (Break) e o setback (Setb) dos snacks com WPI.....	278

Tabela 1B Análise de variância para a densidade absoluta (DA) e densidade dos pellets não-expandidos (DNE)

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	DA	DNE	DA	DNE	DA	DNE	DA	DNE	DA	DNE
Regressão	5,64E-03	4,72E-02	2	5	2,81E-03	9,442E-03	36,15	2,60	9,85E-05*	0,1587 <sup>ns</sup>
Resíduos	6,2 E-04	1,81E-02	8	5	7,8E-05	3,63E-03				
Total	6,26E-03	6,53E-02	10	10						

DA:  $F_{2,8;0,05} = 4,46$ ; DNE:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 2B Análise de variância para a densidade dos pellets expandidos (DE) e diferença de cor ( $\Delta E$ ).

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	DE	$\Delta E$	DE	$\Delta E$	DE	$\Delta E$	DE	$\Delta E$	DE	$\Delta E$
Regressão	9,06E-02	186,47	2	5	4,53E-02	37,29	28,20	1,36	2,38E-04*	0,370 <sup>ns</sup>
Resíduos	1,285 E-02	136,45	8	5	1,60E-03	27,29				
Total	1,034E-01	322,92	10	10						

DE:  $F_{2,8;0,05} = 4,46$ ;  $\Delta E$ :  $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 3B Análise de variância para a frequência de rupturas estruturais (Nsr) e força específica de rupturas estruturais dos pellets (Fsr)

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Nsr	Fsr	Nsr	Fsr	Nsr	Fsr	Nsr	Fsr	Nsr	Fsr
Regressão	6,41	3,76	5	5	1,28E-02	0,75	4,49	1,12	6,24E-02 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>
Resíduos	1,42	3,33	5	5	0,28	0,66				
Total	7,84	7,10	10	10						

Nsr:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$   $R^2 = 0,8179$ ; Fsr:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$   $R^2 = 0,5303$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 4B Análise de variância para a força de punctura (Fp) e índice de crocância (Wc) dos pellets

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Fp	Wc	Fp	Wc	Fp	Wc	Fp	Wc	Fp	Wc
Regressão	7,70	0,56	5	5	154	0,11	1,12	1,68	0,44 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
Resíduos	6,84	0,33	5	5	1,36	0,06				
Total	14,55	0,89	10	10						

F:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$   $R^2 = 0,5295$ ; Wc:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$   $R^2 = 0,6281$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 5B Análise de variância para o índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) dos pellets

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	ISA	IAA	ISA	IAA	ISA	IAA	ISA	IAA	ISA	IAA
Regressão	11,95	0,60	5	5	1,54	0,12	1,12	1,65	0,44*	0,29 <sup>ns</sup>
Resíduos	4,23	0,36	5	5	1,36	0,07				
Total	16,19	0,96	10	10						

ISA:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$   $R^2 = 0,7384$ ; IAA:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$   $R^2 = 0,4711$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 6B Análise de variância para a viscosidade à frio (Vfrio) e viscosidade máxima (Vmáx) durante o ciclo de aquecimento (Vmáx) dos pellets

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Vfrio	Vmáx	Vfrio	Vmáx	Vfrio	Vmáx	Vfrio	Vmáx	Vfrio	Vmáx
Regressão	130396,98	583482,88	3	4	43465,66	145870,7	10,04	91,31	6,25E-03*	1,67E-05*
Resíduos	30288,74	9584,15	7	6	4326,96	1597,35				
Total	160685,72	593067,04	10	10						

Vfrio:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$ ; Vmáx:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 7B Análise de variância para a viscosidade mínima à 95°C (V<sub>mín</sub>) e breakdown (Break) dos pellets

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		F <sub>calc</sub>		p	
	V <sub>mín</sub>	Break	V <sub>mín</sub>	Break	V <sub>mín</sub>	Break	V <sub>mín</sub>	Break	V <sub>mín</sub>	Break
Regressão	76178,73	432159,02	4	3	19044,68	144053	30,94	57,24	3,82E-04*	2,72E-05*
Resíduos	3692,49	17614,10	6	7	615,41	2516,301				
Total	79871,22	449773,13	10	10						

V<sub>mín</sub>: F<sub>4,6;0,05</sub> = 4,53; Break: F<sub>3,7; 0,05</sub> = 4,35 \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 8B Análise de variância para a setback (Setb) e grau de conversão do amido (GCA) dos pellets

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		F <sub>calc</sub>		p	
	Setb	GCA	Setb	GCA	Setb	GCA	Setb	GCA	Setb	GCA
Regressão	652391,41	1408,24	1	5	652391,4	281,65	14,57	0,81	4,10E-03*	0,58 <sup>ns</sup>
Resíduos	402862,77	1733,73	9	5	44762,53	346,74				
Total	1055254,18	3141,98	10	10						

Setb: F<sub>1,9;0,05</sub> = 5,12; GCA: F<sub>5,5; 0,05</sub> = 5,05 R<sup>2</sup> = 0,4482 \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 9B Análise de variância para a densidade absoluta (DA) e densidade dos não-expandidos (DNE) pellets com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	DA	DNE	DA	DNE	DA	DNE	DA	DNE	DA	DNE
Regressão	2,23E-02	5,45E-03	5	5	4,46E-03	1,09E-02	6,23	4,30	3,30E-02*	6,74E-02*
Resíduos	3,58E-02	1,26E-02	5	5	7,16E-04	2,52E-03				
Total	2,59E-02	6,72	10	10						

DA:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$ ; DNE:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$   $R^2 = 0,8116$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 10B Análise de variância para a densidade dos expandidos (DE) e diferença de cor ( $\Delta E$ ) dos pellets com WPI.

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	DE	$\Delta E$	DE	$\Delta E$	DE	$\Delta E$	DE	$\Delta E$	DE	$\Delta E$
Regressão	3,74E-02	218,17E-03	3	3	1,24E-02	72,72	25,05	14,04	4,06E-04*	2,39E-03*
Resíduos	3,48E-03	36,23E-02	7	7	4,98E-04	5,17				
Total	4,08E-02	254,41	10	10						

DE:  $F_{3,7;0,05} = 4,35$ ;  $\Delta E$ :  $F_{3,7;0,05} = 4,35$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 11B Análise de variância para a frequência de rupturas estruturais (Nsr) e força específica de rupturas (Fsr) dos pellets com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Nsr	Fsr	Nsr	Fsr	Nsr	Fsr	Nsr	Fsr	Nsr	Fsr
Regressão	10,27	9,57	2	2	5,13	4,78	11,02	10,77	5,01E-03*	5,36E-03*
Resíduos	3,72	3,55	8	8	0,46	0,44				
Total	13,99	13,13	10	10						

Nsr:  $F_{2,8;0,05} = 4,46$ ; Fsr:  $F_{2,8;0,05} = 4,46$  \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 12B Análise de variância para a força de punctura (Fp) e índice de crocância (Wc) dos pellets com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Fp	Wc	Fp	Wc	Fp	Wc	Fp	Wc	Fp	Wc
Regressão	8,43	0,57	5	5	1,68	0,11	2,04	3,05	0,22 <sup>ns</sup>	0,12*
Resíduos	4,12	0,18	5	5	0,82	3,74E-02				
Total	12,55	0,75	10	10						

Fc:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$ ; R2 = 0,6715 Wc:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 13B Análise de variância para o índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA) dos pellets com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	ISA	IAA	ISA	IAA	ISA	IAA	ISA	IAA	ISA	IAA
Regressão	60,95	4,49	4	5	15,23	0,89	29,67	0,30	4,29E-04*	0,89 <sup>ns</sup>
Resíduos	3,08	14,81	6	5	0,51	2,96				
Total	64,03	19,30	10	10						

ISA:  $F_{4,6;0,05} = 4,53$ ; IAA:  $R^2 = 0,2327$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 14B Análise de variância para a viscosidade à frio (Vfrio) e viscosidade máxima durante o ciclo de aquecimento (Vmáx) dos pellets com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Vfrio	Vmáx	Vfrio	Vmáx	Vfrio	Vmáx	Vfrio	Vmáx	Vfrio	Vmáx
Regressão	1065279	827963	5	1	213055,8	827963,1	1,45	8,49	0,34 <sup>ns</sup>	1,71E-02*
Resíduos	732924	877107	5	9	146584,8	97456				
Total	1798203	1705070	10	10						

Vfrio:  $R^2 = 0,5924$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  Vmáx:  $F_{1,9;0,05} = 5,12$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo



Tabela 15B Análise de variância para a viscosidade mínima à 95°C (V<sub>mín</sub>) e breakdown (Break) dos pellets com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		F <sub>calc</sub>		p	
	V <sub>mín</sub>	Break	V <sub>mín</sub>	Break	V <sub>mín</sub>	Break	V <sub>mín</sub>	Break	V <sub>mín</sub>	Break
Regressão	166158	623999	5	1	33231,65	623999,1	0,85	28,69	0,56 <sup>ns</sup>	4,58E-04*
Resíduos	1953904	195725	5	9	39078,03	21747,21				
Total	361548	819724	10	10						

V<sub>mín</sub>: R<sup>2</sup> = 0,4595 F<sub>5,5;0,05</sub> = 5,05 Break: F<sub>1,9; 0,05</sub> = 5,12 \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 16B Análise de variância para o setback (Setb) e grau de conversão do amido (GCA) dos pellets com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		F <sub>calc</sub>		p	
	Setb	GCA	Setb	GCA	Setb	GCA	Setb	GCA	Setb	GCA
Regressão	1285812,90	1570,52	1	5	1285813	314,10	17,86	0,50	2,21E-03*	0,76 <sup>ns</sup>
Resíduos	647728,59	3091,05	9	5	71969,84	618,21				
Total	1933541,50	4661,58	10	10						

Setb: F<sub>1,9;0,05</sub> = 5,12 GCA: R<sup>2</sup> = 0,3369 F<sub>5,5; 0,05</sub> = 5,05 \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 17B Análise de variância para o índice de expansão radial (IER) e densidade (Den) dos snacks com WPC

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	IER	Den	IER	Den	IER	Den	IER	Den	IER	Den
Regressão	222,96	0,62	1	1	222,96	0,62	43,67	54,24	9,82E-05*	4,26E-05
Resíduos	45,94	0,10	9	9	5,10	1,15E-02				
Total	268,90	0,73	10	10						

IER:  $F_{1,9;0,05} = 5,12$  Den:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 18B Análise de variância para a diferença de cor ( $\Delta E$ ) e frequência de rupturas estruturais (Nsr) dos snacks com WPC

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	$\Delta E$	Nsr	$\Delta E$	Nsr	$\Delta E$	Nsr	$\Delta E$	Nsr	$\Delta E$	Nsr
Regressão	176,08	2,56	1	1	176,08	2,56	36,92	35,03	1,85E-04*	2,24E-04
Resíduos	42,92	0,65	9	9	4,76	7,32E-02				
Total	219,00	3,22	10	10						

$\Delta E$ :  $F_{1,9;0,05} = 5,12$  Den:  $F_{1,9;0,05} = 5,12$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 19B Análise de variância para a força de rupturas estruturais (Fsr) e força de punctura (Fp) dos snacks com WPC

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Fsr	Fp	Fsr	Fp	Fsr	Fp	Fsr	Fp	Fsr	Fp
Regressão	0,98	22,76	2	5	0,49	4,55	24,14	0,85	4,08E-04*	0,56 <sup>ns</sup>
Resíduos	0,16	26,75	8	5	2,02E-02	5,35				
Total	1,14	49,52	10	10						

Fsr:  $F_{2,8;0,05} = 4,46$  Fp:  $R^2 = 0,4597$   $F_{5,5; 0,05} = 5,05$  \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 20B Análise de variância para índice de crocância (Wc) e índice de solubilidade em água (ISA) dos snacks com WPC

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Wc	ISA	Wc	ISA	Wc	ISA	Wcr	ISA	Wc	ISA
Regressão	1,90	107,95	5	5	0,38	21,59	0,68	4,31	0,65 <sup>ns</sup>	6,73E-02*
Resíduos	2,75	25,03	5	5	0,55	5,00				
Total	4,66	103,99	10	10						

Wc:  $R^2 = 0,4080$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  ISA:  $R^2 = 0,8117$   $F_{5,5; 0,05} = 5,05$  \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 21B Análise de variância para índice de absorção de água (IAA) e viscosidade à frio (Vfrio) dos snacks com WPC

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	IAA	Vfrio	IAA	Vfrio	IAA	Vfrio	IAA	Vfrio	IAA	Vfrio
Regressão	0,65	27099371,55	1	2	0,65	13549686	23,76	79,84	8,78E-04*	5,18E-06*
Resíduos	0,24	1357573,67	9	8	2,74E-02	169696,7				
Total	0,90	28456945,22	10	10						

IAA:  $F_{1,9;0,05} = 5,12$  Vfrio:  $F_{2,8; 0,05} = 4,46$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 22B Análise de variância para a viscosidade máxima no final da rampa de aquecimento (Vmáx) e viscosidade mínima (Vmín) dos snacks com WPC

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Vmáx.	Vmín.	Vmáx.	Vmín.	Vmáx.	Vmín.	Vmáx.	Vmín.	Vmáx.	Vmín.
Regressão	563704,62	60671,39	1	1	563704,6	60671,4	81,69	41,42	8,24E-06*	1,2E-04*
Resíduos	62097,78	13180,14	9	9	6899,75	1464,46				
Total	625802,40	73851,54	10	10						

Vmáx.  $F_{1,9;0,05} = 5,12$  Vmín.:  $F_{1,9; 0,05} = 5,12$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 23B Análise de variância para o breakdown (Break) e setback (Setb) dos snacks com WPC

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Break	Setb.	Break.	Setb.	Break.	Setb.	Break.	Setb	Break.	Setb.
Regressão	254507,13	2277396,11	1	1	254507,1	2277396	109,63	32,10	2,44E-06*	3,07E-04*
Resíduos	20893,54	638502,92	9	9	2321,50	70944,77				
Total	275400,68	2915899,04	10	10						

Vmáx.  $F_{1,9;0,05} = 5,12$  Vmín.:  $F_{1,9; 0,05} = 5,12$  \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 24B Análise de variância para o índice de expansão radial (IER) e densidade (Den) dos snacks com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	IER	Dens.	IER.	Dens.	IER.	Dens.	IER.	Dens	IER.	Dens.
Regressão	148,63	0,32	2	3	74,31	0,10	72,52	39,16	7,47E-06*	9,6E-05*
Resíduos	8,19	1,96E-02	8	7	1,02	2,80E-03				
Total	156,83	0,34	10	10						

IER.  $F_{2,8;0,05} = 4,46$  Dens.:  $F_{3,7; 0,05} = 4,35$  \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 25B Análise de variância para a diferença de cor ( $\Delta E$ ) e frequência de rupturas estruturais (Nsr) dos snacks com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	$\Delta E$	Nsr.	$\Delta E.$	Nsr.	$\Delta E.$	Nsr.	$\Delta E.$	Nsr	$\Delta E.$	Nsr.
Regressão	501,33	4,34	1	5	501,34	0,86	359,64	0,98	1,45E-08*	0,50 <sup>ns</sup>
Resíduos	12,54	4,41	9	5	1,39	0,88				
Total	513,88	8,75	10	10						

$\Delta E.$   $F_{1,9;0,05} = 5,12$  Nsr:  $R^2 = 0,4958$   $F_{5,5; 0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 26B Análise de variância para força de ruptura estrutural (Fsr) e força de punctura (Fp) dos snacks com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Fsr	Fp.	Fsr.	Fp.	Fsr.	Fp.	Fsr.	Fp	Fsr.	Fp.
Regressão	2,31E-02	2,28	5	5	4,62E-03	0,45	0,83	0,54	0,57 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
Resíduos	2,77E-02	4,20	5	5	5,55E-03	0,84				
Total	5,09E-02	6,48	10	10						

Fsr:  $R^2 = 0,4547$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  Fp:  $R^2 = 0,3523$   $F_{5,5; 0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 27B Análise de variância para o índice de crocância (Wc) e índice de solubilidade em água (ISA) dos snacks com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Wc	ISA.	Wc.	ISA.	Wc.	ISA.	Wc	ISA	Wc.	ISA.
Regressão	2,67E-02	54,69	5	5	5,34E-03	10,93	0,67	0,56	0,66 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>
Resíduos	3,98E-02	96,00	5	5	7,96E-03	19,20				
Total	6,65E-02	150,69	10	10						

Wc.  $R^2 = 0,4017$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  ISA:  $R^2 = 0,3629$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 28B Análise de variância para o índice de absorção de água (IAA) e viscosidade à frio (Vfrio) dos snacks com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	IAA	Vfrio	IAA	Vfrio.	IAA	Vfrio.	IAA	Vfrio	IAA.	Vfrio.
Regressão	2,24	614646,95	5	5	0,44	122929,4	1,26	5,15	0,40 <sup>ns</sup>	4,80E-02*
Resíduos	1,77	119197,76	5	5	0,35	23839,555				
Total	4,02	733844,72	10	10						

IAA.  $R^2 = 0,5590$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  Vfrio:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* ( $P < 0,05$ ), ns - não significativo

Tabela 29B Análise de variância para viscosidade máxima no final da rampa de aquecimento (Vmáx.) e viscosidade mínima (Vmín.) dos snacks com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Vmáx.	Vmín.	Vmáx.	Vmín.	Vmáx.	Vmín.	Vmáx.	Vmín.	Vmáx.	Vmín.
Regressão	26858,98	4774,93	5	5	5371,79	954,98	2,00	1,18	0,23 <sup>ns</sup>	0,42E-02*
Resíduos	13362,74	4021,70	5	5	2672,54	804,34				
Total	40221,72	8796,63	10	10						

Vmáx.:  $R^2 = 0,6677$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  Vmín.:  $R^2 = 0,5428$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* (P<0,05), ns - não significativo

Tabela 30B Análise de variância para o breakdown (Break) e o setback (Setb) dos snacks com WPI

Fonte de variação	Soma de quadrados		Graus de liberdade		Quadrado médio		Fcalc		p	
	Break.	Setb.	Break.	Setb.	Break.	Setb.	Break.	Setb.	Break.	Setb.
Regressão	11240,56	19752,45	5	2	2248,11	9876,22	3,78	15,42	8,52E-02*	1,79E-03*
Resíduos	2970,61	5121,17	5	8	594,12	640,14				
Total	14211,18	24873,63	10	10						

Break.:  $R^2 = 0,7909$   $F_{5,5;0,05} = 5,05$  Vmín.:  $F_{5,5;0,05} = 5,05$  \* (P<0,05), ns - não significativo