



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

LENIZA JANUÁRIO LUDWIG

**DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS INSTANTÂNEAS DE  
AVEIA POR EXTRUSÃO REATIVA COM  $\text{NaHCO}_3$  PARA  
APLICAÇÃO EM BEBIDAS**

---

Londrina  
2014

LENIZA JANUÁRIO LUDWIG

**DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS INSTANTÂNEAS DE  
AVEIA POR EXTRUSÃO REATIVA COM  $\text{NaHCO}_3$  PARA  
APLICAÇÃO EM BEBIDAS**

Dissertação apresentado ao Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Victoria Eiras Grossmann

Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marta de Toledo Benassi

Londrina  
2014

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

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

L948d	<p>Ludwig, Leniza Januário. Desenvolvimento de farinhas instantâneas de aveia por extrusão reativa com NaHCO<sub>3</sub> para aplicação em bebidas / Leniza Januário Ludwig. – Londrina, 2014. 70 f.: il.</p> <p>Orientador: Maria Victória Eiras Grossmann. Coorientador: Marta de Toledo Benassi. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2014. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Aveia – Processamento – Teses. 2. Farinhas – Indústria – Teses. 3. Bicarbonato de sódio – Teses. 4. Bebidas – Avaliação sensorial – Teses. 5. Alimentos enriquecidos – Processo de extrusão – Teses. I. Grossmann, Maria Victória Eiras. II. Benassi, Marta de Toledo. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. IV. Título.</p> <p>CDU 664.6/.7</p>
-------	---

LENIZA JANUÁRIO LUDWIG

**DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS INSTANTÂNEAS DE AVEIA  
POR EXTRUSÃO REATIVA COM  $\text{NaHCO}_3$  PARA APLICAÇÃO EM  
BEBIDAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre, área de concentração do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora. Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Victoria Eiras  
Grossmann  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adelaide del Pino Beleia  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Dr<sup>ª</sup>. Melicia Cintia Galdeano  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –  
Embrapa

Londrina, 24 de abril de 2014.

Dedico este trabalho a meus pais,  
meus eternos professores.

## AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me concedido saúde, disposição, discernimento, inspiração e principalmente por ter colocado pessoas maravilhosas em toda minha caminhada profissional.

Agradeço também, de maneira muito especial, a Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann, que não mediu esforços para auxiliar-me e conduzir-me de maneira doce, paciente e muito sábia. Obrigada pelo raro aprendizado que levarei comigo por toda a vida.

Um obrigada especial a Dra. Marta Benassi, por sua co-orientação, excelentes sugestões e palavras encorajadoras também a Dra. Adelaide Beleia, pela forte contribuição na qualificação e aceite em participar de minha banca.

Agradeço a meus pais, irmãos e namorado, pela paciência, compreensão; por tornarem tudo mais fácil, simples e principalmente pelos momentos preciosos que passamos juntos.

Serei eternamente grata a equipe da SL Alimentos, em especial ao meu diretor Sr. Thomaz Setti, por tornar meus sonhos possíveis e financiar meus ideais. Sinto-me honrada em fazer parte desta empresa que muito me orgulha e tenho imensa felicidade em poder contribuir com os conhecimentos que estes anos de estudo me proporcionaram.

Aos meus companheiros de trabalho que me ajudaram nos testes de extrusão: Elvis, Raceli, Cristiane, Talita, Jonatas e Ana Paula.

À Dra. Melícia Galdeano, por quem tenho grande admiração, que não só me auxiliou no decorrer deste projeto, mas esteve presente também em toda minha caminhada profissional, acreditando em minha capacidade e me incentivando em novos desafios.

Aos doutores Avacir Casanova Andrello e Osvaldo Capello, pelo indispensável apoio nas análises de microscopia e tomografia em Raio-X.

A querida amiga Melina Cardoso, que muito me ajudou nas análises estatísticas.

A estimada equipe da EMBRAPA -Agroindústria de Alimentos, por tornar possíveis as determinações em RVA.

Ao incentivo financeiro da Capes e suporte indispensável da Sandra Rezende e toda a estrutura e equipe da Universidade Estadual de Londrina.

Aos excelentes amigos que me ajudaram, cada um a sua maneira, ao longo deste projeto.

Com certeza, nada seria possível sozinha.

Um amigo uma vez perguntou a Isidor I. Rabi, ganhador do Prêmio Nobel de física, como ele se tornou cientista. Rabi respondeu que todos os dias, ao voltar das aulas sua mãe conversava com ele sobre seu dia na escola. Ela não estava muito interessada no que ele havia aprendido aquele dia, mas sempre perguntava: “Você fez uma boa pergunta?” “Fazer boas perguntas”, disse Rabi, “fez com que eu me tornasse um cientista.”

(Fonte desconhecida)

LUDWIG, Leniza Januário. **Desenvolvimento de farinhas instantâneas de aveia por extrusão reativa com NaHCO<sub>3</sub> para aplicação de bebidas.** 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

## RESUMO

Muito se tem discutido a respeito de opções convenientes de alimentos saudáveis. Bebidas de cereais instantâneas são uma opção conveniente quando produzidas por extrusão, reduzindo assim o custo e tempo de produção. Bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) tem sido amplamente estudado em processos de extrusão reativa. Porém, não se encontram dados sobre o seu uso em extrusão de farinha de aveia integral. Neste trabalho, a farinha de aveia integral foi extrusada com diferentes concentrações de NaHCO<sub>3</sub> (0; 0,3; 0,5; 1,0 e 5,0%) para avaliação da expansão e microestrutura dos extrusados; e cor, pH, hidratação, solubilidade e viscosidade das farinhas correspondentes. As farinhas foram empregadas como base na preparação de bebidas, que foram avaliadas sensorialmente para caracterizar: a farinha extrusada mais aceita, o sabor da bebida que mais agradou os provadores e os atributos cor, sabor, textura, aroma, aceitação global e perspectiva comercial da bebida de aveia desenvolvida. Os resultados evidenciaram que a farinha de aveia integral apresenta baixa expansão, provavelmente pelo teor de fibras e lipídios em sua constituição. A adição de NaHCO<sub>3</sub> aumentou as tonalidades amarela e verde nas amostras extrusadas com maior concentração deste sal; concomitantemente, o índice de absorção de água aumentou (de 5,37 para 6,38%) e a solubilidade diminuiu (de 6,62 para 3,98%), independentemente da concentração de NaHCO<sub>3</sub>. A estabilidade de sólidos em água foi maior em amostras contendo NaHCO<sub>3</sub>. A atividade de água diminuiu e o pH das farinhas aumentou significativamente quando NaHCO<sub>3</sub> foi utilizado. A viscosidade das amostras com NaHCO<sub>3</sub> foi significativamente maior que a viscosidade das amostras sem NaHCO<sub>3</sub>. A avaliação sensorial das bebidas formuladas com os pós extrusados determinou a amostra com 0,5% de NaHCO<sub>3</sub> e o sabor baunilha como os mais aceitos pelos provadores, sendo que 54,9% destes declararam que tinham intenção de comprar o produto. Os resultados sugerem que a utilização da extrusão reativa da farinha de aveia empregando NaHCO<sub>3</sub> para a produção de bebida de cereal pode ser uma alternativa viável para a indústria. O presente trabalho ajuda cientistas a entenderem os efeitos do NaHCO<sub>3</sub> quando utilizado na extrusão de farinhas de aveia integral, podendo ser útil em futuros desenvolvimentos.

**Palavras-chaves:** Solubilidade. Bicarbonato de sódio. Bebida de cereal. Bebida de Aveia. Análise sensorial.

LUDWIG, Leniza Januário. **Development of instant oat flours for beverage application by reactive extrusion with NaHCO<sub>3</sub>**. 2014. 70 p. Dissertation (Máster in Food Science and Technology) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

### ABSTRACT

A lot has been discussed about healthy and convenient food options. Cereal instant beverages are an acceptable option when produced by extrusion in order to reduce time and production costs. Sodium bicarbonate (NaHCO<sub>3</sub>) has been widely studied in reactive extrusion process. However, no data is found about extruding whole oat flour with NaHCO<sub>3</sub>. In this study, whole oat flour was extruded with different NaHCO<sub>3</sub> concentrations (0.0, 0.3, 0.5, 1.0 and 5.0%) in order to evaluate the product's expansion and microstructure; also the color, pH, hydration, solubility and viscosity of the extruded and milled flours were analyzed. These instant and extruded flours were evaluated in three sets of sensory analysis by preparing oat beverages in order to get: the best extruded oat flour, the best beverage flavor and the samples color, taste, texture, flavor, global acceptance and commercial perspective of the developed oat beverage. Results suggest that extruded whole oat flour cannot stand considerable increase in expansion, probably because of high fiber and lipids content. The addition of NaHCO<sub>3</sub> promoted yellowness and increased greenish color in high NaHCO<sub>3</sub> concentration extrudates; at same time, water absorption index was increased (from 5.37 to 6.38%) and water solubility index was decreased (from 6.62 to 3.98%), independently of NaHCO<sub>3</sub> concentration. Solids stability in water was higher in samples containing NaHCO<sub>3</sub>. Water activity decreased and pH increased significantly when NaHCO<sub>3</sub> was applied. Viscosity of samples with NaHCO<sub>3</sub> was significantly higher than the ones with no NaHCO<sub>3</sub>. Sensory evaluation of the oat beverage prepared using the extruded powders determined that the 0.5% of NaHCO<sub>3</sub> and vanilla flavor samples were evaluated as the most acceptable by panelists, also 54.9% of panelists declared they intended to buy the developed product. The results suggest that applying NaHCO<sub>3</sub> at reactive extrusion with whole oat flour for producing cereal drinks is an effective alternative and convenient way for food industries. The present work helps scientists to understand better the NaHCO<sub>3</sub> interaction to oat flour when extrusion process is applied, which can be valuable for futures developments.

**Key-words:** Oat. Solubility. Extrusion. Sodium bicarbonate. Cereal drink. Sensorial analysis.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Grãos de aveia com casca e sem casca ( <i>Avena sativa</i> L.) .....	19
<b>Figura 2</b> – Desenho esquemático do grão de aveia .....	20
<b>Figura 3</b> – Plantação de aveia no estado do Paraná – Brasil .....	22
<b>Figura 4</b> – Ilustração de uma extrusora Clextral <sup>®</sup> BC72 .....	30
<b>Figura 5</b> – Extrusados antes da moagem .....	35
<b>Figure 6</b> – Imagens de tomografia em raio-X em cortes radiais (a) e longitudinais (b) dos extrusados de farinha de aveia com diferentes concentração de NaHCO <sub>3</sub> .....	36
<b>Figure 7</b> – Imagens de MEV de farinha de aveia e farinhas extrusadas com diferentes concentração de NaHCO <sub>3</sub> , ampliadas em 200x (a) e 8000x (b) .....	42
<b>Figure 8</b> – Parâmetros de viscosidade das amostras de farinha de aveia .....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Produção de aveia no mundo em 2012.....	21
<b>Tabela 2</b> – Índice de expansão e porcentagem de porosidade dos produtos extrusados .....	32
<b>Tabela 3</b> – Cor da farinha de aveia crua e farinhas extrusadas .....	37
<b>Tabela 4</b> – Atividade de água e pH da farinha de aveia crua e farinhas extrusadas.....	38
<b>Tabela 5</b> – ISA e IAA da farinha de aveia crua e farinhas extrusadas .....	40
<b>Tabela 6</b> – Estabilidade de sólidos em água e viscosidade da farinha de aveia crua e farinhas extrusadas .....	41
<b>Tabela 7</b> – Receitas dos <i>shakes</i> de acordo com cada sabor.....	47
<b>Tabela 8</b> – Propriedades de pasta das amostras de farinha de aveia .....	52
<b>Tabela 9</b> – Resultados da análise sensorial de ordenação por preferência das bebidas de aveia formuladas com farinhas com diferentes concentrações de NaHCO <sub>3</sub> .....	53
<b>Tabela 10</b> – Resultados da análise sensorial de ordenação por preferência das bebidas de aveia de diferentes sabores .....	54
<b>Tabela 11</b> – Avaliação dos atributos da bebida de aveia.....	55

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAA	Índice de Absorção de Água
ISA	Índice de Solubilidade em Água
SEM	Scanning Electron Microscopy
WAI	Water Absorption Index
WSI	Water Solubility Index
RVA	Rapid Visco Analyzer

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	JUSTIFICATIVA .....	15
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	18
2.1	OBJETIVO GERAL .....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
3.1	AVEIA ( <i>AVENA SATIVA</i> L.) .....	19
3.1.1	Composição .....	19
3.1.2	Produção .....	21
3.1.3	Benefícios à Saúde .....	22
3.2	A EXTRUSÃO NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	24
3.2.1	Variáveis e Parâmetros Operacionais do Processo .....	25
3.2.2	Utilização de Bicarbonato de Sódio em Extrusão .....	26
3.2.3	Desenvolvimento de Pó Instantâneo por Processo de Extrusão .....	27
<b>4</b>	<b>ARTIGO 1</b> .....	28
4.1	INTRODUCTION .....	28
4.2	MATERIALS AND METHODS .....	29
4.2.1	Materials .....	29
4.2.2	Methods .....	29
4.2.2.1	Extrusion of oat flour .....	29
4.2.2.2	Expansion .....	30
4.2.2.3	Cellular structure determination .....	31
4.2.2.4	Color evaluation .....	31
4.2.2.5	Water activity .....	31
4.2.2.6	Hydrogen-ion activity (pH) .....	32
4.2.2.7	Water solubility index and water absorption index .....	32
4.2.2.8	Solids stability in water .....	32
4.2.2.9	Viscosity .....	32

4.2.2.10	Scanning electron microscopy .....	33
4.2.2.11	Statistical analysis .....	33
4.3	RESULTS AND DISCUSSION .....	33
4.3.1	Expansion .....	33
4.3.2	Cellular Structure Determination .....	35
4.3.3	Color Evaluation.....	37
4.3.4	Water Activity .....	38
4.3.5	Hydrogen-ion Activity (pH) .....	39
4.3.6	Water Solubility Index and Water Absorption Index .....	39
4.3.7	Solids Stability in Water.....	41
4.3.8	Scanning Electron Microscopy.....	42
4.4	CONCLUSION .....	43
<b>5</b>	<b>ARTIGO 2</b> .....	<b>44</b>
5.1	INTRODUCTION .....	44
5.2	MATERIALS AND METHODS.....	45
5.2.1	Materials .....	45
5.2.2	Methods .....	45
5.2.2.1	Extrusion process.....	45
5.2.2.2	Pasting properties of oat flours.....	46
5.2.2.3	Sensorial analysis of oat drinks .....	47
5.2.2.3.1	<i>Ranking by preference 1</i> .....	47
5.2.2.3.2	<i>Ranking by preference 2</i> .....	48
5.2.2.3.3	<i>Hedonic scale -attributes evaluation, acceptance and purchase intention</i> .....	48
5.2.2.4	Statistical analysis .....	48
5.3	RESULTS AND DISCUSSION .....	49
5.3.1	Pasting properties – viscosity .....	49
5.3.2	Sensorial analysis .....	53
5.3.2.1	Ranking by preference 1 .....	53
5.3.2.2	Ranking by preference 2.....	54
5.3.2.3	Hedonic scale -attributes evaluation, acceptance and purchase intention .....	54
5.4	CONCLUSION .....	55

<b>CONCLUSÃO</b> .....	56
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57
<b>ANEXOS</b> .....	62
ANEXO A– Aceite do Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina.....	63
ANEXO B– Termo de Consentimento Livre e Esclarecido na forma de convite para a análise sensorial de aceitação de bebida de cereal.....	64
ANEXO C– Modelo de questionário para recrutamento de provadores.....	66
ANEXO D– Modelo de ficha para o teste de ordenação das amostras conforme preferência global (diferentes concentrações bicarbonato) .....	67
ANEXO E– Modelo de ficha para o teste de ordenação das amostras conforme preferência global (diferentes sabores).....	68
ANEXO F– Modelo de ficha para o teste de aceitação dos atributos sensoriais estruturados em escala hedônica .....	69
ANEXO G – Página de acesso ao <i>Curriculum Lattes</i> dos pesquisadores envolvidos neste trabalho .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

Os cereais, comumente chamados “grãos”, têm grande importância econômica e social e, alguns deles, são *commodities*. Os produtos deste grupo destacam-se por seu uso na produção de óleos comuns alimentícios e na geração de energia; atendem também às indústrias alimentares (massas, pães, biscoitos, etc.) e de ração; e alguns são importantes componentes da cesta básica do brasileiro (IBGE, 2008).

A aveia, em especial, é um cereal utilizado como alimento funcional desde 1999, quando a ANVISA formalizou a alegação funcional da fibra solúvel, a  $\beta$ -glucana, reconhecendo sua capacidade de auxiliar na diminuição da colesterolemia (ANVISA, 2008).

Recentemente, observa-se uma forte tendência em desenvolver novos produtos que agradem o paladar dos consumidores e que também agreguem ingredientes funcionais na dieta, sendo práticos para transporte e preparo e de custo aceitável.

O processo de desenvolvimento de produtos por meio de extrusão está perfeitamente inserido neste contexto atual de versatilidade e redução de custos. Ele consiste em um processo HTST *-high temperature, short time*, que envolve aplicação de altas temperaturas, alta pressão e energia mecânica. Pode ser empregado para processamento de materiais crus em pó, como farinhas de cereais (Kim *et al.*, 2006).

Para a elaboração de bebidas de cereais, a partir de pós instantâneos, é necessário que o produto desenvolvido por extrusão tenha, principalmente, alta solubilidade. Esta característica pode ser alcançada quando o processamento em extrusora é drástico. Em situação de alta pressão, temperatura e rotação da rosca, combinados com baixa umidade da massa (<20%), há um alto cisalhamento das matérias primas, formando dextrinas e gelatinizando o amido da massa. Estas dextrinas são componentes indesejáveis em snacks por aderirem facilmente aos dentes e à cavidade bucal (EMBRAPA, 2012). No entanto, para formulações que serão solubilizadas posteriormente, as dextrinas são componentes bastante interessantes tecnologicamente, devido à sua solubilidade (BeMiller, 2007).

Charunuch e colaboradores, em 2003, elaboraram um pó para aplicação em bebidas, por meio de extrusão de milho e soja. Embora os autores não tenham estudado especificamente as variáveis temperatura, velocidade da rosca e umidade no trabalho, observou-se que os parâmetros selecionados para o processamento configuraram condições drásticas, adotando-se umidade inferior a 20%, temperatura superior a 100 °C e velocidade da rosca de 350 rpm; possivelmente para obtenção de maior solubilidade do produto.

Alguns autores já estudaram o efeito da aplicação de bicarbonato de sódio em produtos extrusados, relatando sua capacidade de aumentar o índice de expansão do produto, quando presente em determinadas concentrações, devido ao desprendimento de gás carbônico (Moraru; Kokini, 2003; Hosney *et al.*, 1992 e Parsons *et al.*, 1996). Esta maior expansão pode resultar em aumento da solubilidade.

Tendo como fundamentação os trabalhos já concluídos, propôs-se teste preliminar na extrusora, utilizada neste trabalho, para avaliação do produto frente às diferentes variáveis de processo (temperatura, umidade e velocidade do parafuso), determinando assim as condições mais interessantes tecnologicamente para a incorporação de atributos sensoriais desejáveis a uma bebida instantânea.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, observa-se um crescente interesse no desenvolvimento de produtos que atendam à demanda dos consumidores, ávidos por alimentos relacionados a hábitos de vida saudáveis. Os avanços da medicina e o aumento da expectativa de vida mudaram os padrões de consumo, aumentando a busca por alimentos que, além de nutrirem, promovam saúde e bem-estar.

Por esse motivo, pesquisas envolvendo o desenvolvimento de produtos com alto teor de fibras e proteínas são importantes no sentido de ampliar as opções disponíveis no mercado, que atendam as necessidades dos mais variados perfis de consumidores.

Concomitante à busca por alimentos saudáveis, tem-se observado também um aumento no número de indivíduos intolerantes a lactose, que hoje chegam a ser 25% dos brasileiros (Ministério da Saúde, 2005). Intolerância à lactose é a incapacidade de digerir a lactose. O problema é resultado da deficiência ou ausência de uma enzima intestinal chamada lactase. Esta enzima possibilita decompor o açúcar do leite em carboidratos mais simples, para a sua melhor absorção. As principais causas desta intolerância são devidas à deficiência congênita da enzima ou diminuição na produção da lactase em consequência de doenças intestinais. Há, ainda, a deficiência primária, quando ocorre diminuição da produção da lactase como consequência do envelhecimento. Esse fato é mais evidente em algumas raças, como a negra (até 80% dos adultos têm deficiência) e menos comum em outras, como a branca (20% dos adultos). Não há tratamento para aumentar a capacidade de produzir lactase, mas os sintomas podem ser controlados por meio de dieta. Para que o controle seja efetivo, alimentos derivados de leite e preparações à base de leite (bolos, pudins, cremes, bolachas e

biscoitos), devem ser evitados, restringindo bastante as opções de consumo da pessoa intolerante (Ministério da Saúde, 2005).

Há também uma forte tendência em rejeitar alimentos de origem animal reafirmando uma tendência atual em primar pelo bem estar animal e do planeta. Em 2006, nos Estados Unidos, 2,3% das pessoas com mais de 18 anos se autotransclassificavam como vegetarianos e há estimativa de crescimento deste número (Stahler, 2006).

Em consequência a este perfil contemporâneo de consumidores, observa-se um aumento na demanda de produtos alternativos, como bebida de soja, de cereais integrais, ricos em fibras, orgânicos e produtos livres de lactose em geral. No entanto, os produtos a base de soja enfrentam barreiras significativas, como o aumento do valor da soja \_ sendo este próximo a R\$70,00 cada 60 kg de grãos em Paranaguá, no mês de abril de 2014 (BM&F, 2014), enquanto a mesma quantidade de aveia é avaliada em aproximadamente R\$29,00; o aumento esporádico da plantação de soja transgênica, ainda não aceita por um grupo bastante grande de consumidores, principalmente os europeus; e a concorrência da cultura de soja com outras culturas alternativas para a produção de biocombustíveis. Nos Estados Unidos 94% de toda a produção de soja é transgênica, no Brasil 89% e na Argentina este número chega a 100% (Golbitz, 2012).

Atualmente, a maioria dos pós derivados de cereais ou outros vegetais destinados à elaboração de bebidas é produzida por *spray dryers* ou *drum dryers*. Estes processos são úteis e suficientes para gerar a energia térmica necessária na gelatinização do amido. Tal gelatinização possibilita uma rápida rehidratação quando o cereal for reconstituído. Porém, estas tecnologias demandam tempo e energia consideravelmente maiores que o processo de extrusão, gerando gastos demasiados à indústria de alimentos (Dust *et al.*, 2007).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi elaborar uma base extrusada para produzir bebida a partir de aveia, um alimento funcional e livre de lactose capaz de proporcionar benefícios em virtude das alegações associadas à utilização de aveia como ingrediente principal. O desenvolvimento do produto também levou em consideração a praticidade, por ser instantâneo, e a alta estabilidade por possuir baixa atividade de água. A bebida de aveia foi avaliada sensorialmente pelos potenciais consumidores para avaliar a viabilidade do desenvolvimento proposto.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Os experimentos realizados e seus resultados estão apresentados na forma de artigos e em inglês, porque foram redigidos diretamente nesse idioma, com vistas a sua publicação em periódicos internacionais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Produzir uma farinha de aveia integral extrusada com boa solubilidade para ser utilizada na elaboração de uma bebida.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrusar farinha de aveia com diferentes concentrações de bicarbonato de sódio, em condições drásticas de processo;
- Avaliar as características físico-químicas dos extrusados de aveia.
- Elaborar bebida de cereal (aveia) com as diferentes farinhas juntamente com ingredientes diversos para melhorar as características sensoriais;
- Determinar se qual das bebidas elaboradas é mais aceita pelos potenciais consumidores por meio de análise sensorial;
- Avaliar a intenção de compra dos potenciais consumidores.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 AVEIA (*AVENA SATIVA* L.)

A origem da aveia é datada a aproximadamente 2.000 a.C. Estudos arqueológicos revelam que este cereal teve origem no Oriente Médio, particularmente nas áreas próximas ao Mar Mediterrâneo (Webster and Wood, 2011).

As espécies de aveia incluem *Avena abyssinica*, *A. byzantina*, *A. fátua*, *A. nuda*, *A. sativa*, exemplificada na figura 1, *A. strigosa* e outras. No entanto, as espécies mais cultivadas no mundo são *Avena sativa*, com mais de 75%, e *A. byzantina* (Gutkoski, 2000).

**Figura 1** – Grãos de aveia com casca e sem casca (*Avena sativa* L.)

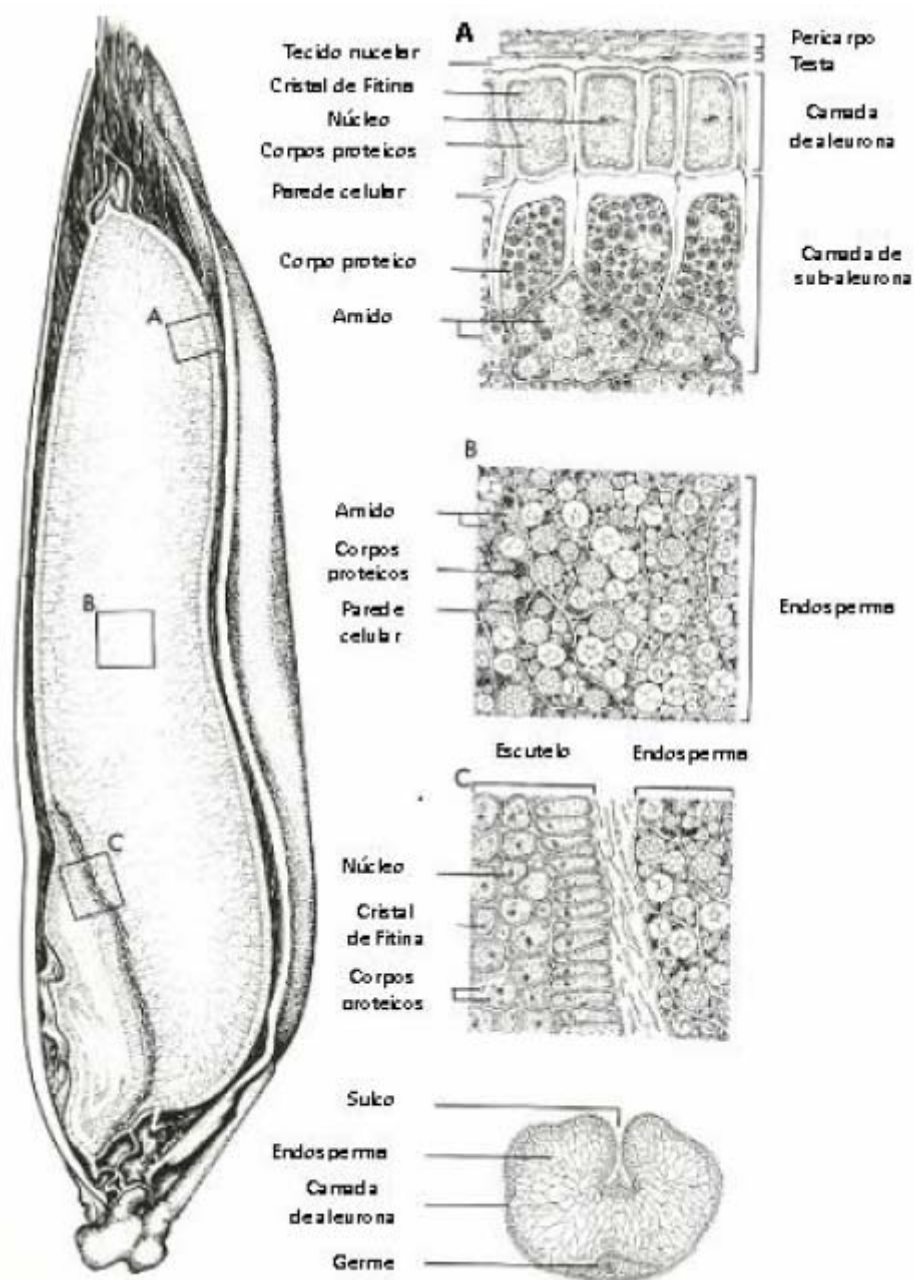


**Fonte:** P&D SL Alimentos, 2012

##### 3.1.1 Composição

A aveia (*Avena sativa* L.) é um importante cereal estocável para alimentação de homens e animais. É boa fonte de proteínas, fibras e minerais. A estruturação dos seus grãos é exemplificada na Figura 2. A aveia é considerada o cereal de maior concentração proteica, no entanto, sua estocagem foi demasiadamente substituída pelo estoque de leguminosas do tipo soja, que hoje são consideradas a principal fonte de proteínas de origem vegetal (Webster and Wood, 2011).

**Figura 2** – Desenho esquemático do grão de aveia



**Fonte:** Gary Fulcher, ilustrado por F. Wong. Universidade de Minnesota, 1988.

A aveia nacional tem, em média, 17% de proteína bruta, 7% de lipídios, 72% de amido, 15% de fibra alimentar, 4,5% de  $\beta$ -glucanas e 2% de cinzas. (Gutkoski, 2000).

As proteínas representam de 15 a 20% da composição dos grãos de aveia, variando conforme seu genótipo e condições de crescimento da planta. A globulina é a proteína predominante na aveia (70-80%). As proteínas da aveia têm bom balanço de aminoácidos, no entanto, são limitantes em lisina e treonina. Os nove aminoácidos essenciais presentes representam 44% do total de proteínas, o que excede a quantidade de 34%

preconizada para crianças. As proteínas da aveia estão distribuídas no endosperma, aleurona e gérmen. Os usos potenciais da proteína de aveia são como ingredientes em doces, aditivos funcionais em alimentos elaborados e produtos comparáveis ao concentrado proteico de soja (Webster and Wood, 2011).

A aveia tem maior porcentagem de lipídios que a maioria dos cereais (cerca de 8%). Estes estão distribuídos por todo o grão e destacam-se nutricionalmente por sua razão favorável entre ácidos graxos poliinsaturados e saturados, pelo alto conteúdo de ácidos oleico e linoleico, vitaminas e por suas propriedades antioxidantes. Pesquisas internacionais indicam que o teor de tocóis (vitamina E) é considerável no óleo de aveia, sendo que dentre eles, o teor de  $\alpha$ -tocoferol varia entre 3,3 e 6,7 mg/100g (Webster and Wood, 2011).

Os carboidratos presentes na aveia, além da concentração do amido, possuem fração de fibra considerável próxima a 10%, destacando-se as fibras solúveis, principalmente a  $\beta$ glucana (próxima a 4%) (Zhang *et al.*, 2011).

### 3.1.2 Produção

No Brasil, em 2007, a aveia representou 21,7% do montante de produção de aveia, cevada, amendoim, triticale, girassol, mamona, centeio e algodão arbóreo. A produção apresentou uma queda de 41,4% nos últimos vinte anos em função da menor área plantada. Provavelmente a cultura cedeu área para outras lavouras com preços mais atrativos, como é o caso do trigo e do milho segunda safra (IBGE, 2008). No mundo, o Canadá e a Rússia são os maiores produtores deste cereal, conforme pode-se ver pela Tabela 1.

**Tabela 1** – Produção de aveia no mundo em 2012

País	Renda (em \$1000)	Produção
Canadá	216116	2.668.990
Brasil	47101	431.024
Finlândia	45868	1.073.100
Rússia	44232	4.027.274
Reino Unido	40545	627.000
Alemanha	36662	758.000
Austrália	32360	1.262.032

Fonte: FAOstat, 2013

O cultivo de aveia atualmente está em sexto lugar no *ranking* mundial de produção de grãos, seguindo milho, trigo, cevada, sorgo e milheto. A aveia contabiliza menos de 2% do montante de grãos, com sua produção utilizada para alimentação humana. No entanto, a produção se mostra estabilizada em pouco mais de 25 milhões de toneladas, depois de ter diminuído quase 60%, nos últimos 40 anos. Áreas de cultivo de aveia contabilizam menos de 5% do total de lavouras em muitos países (em alguns menos de 2%), mas esta taxa tem se estabilizado também (Webster and Wood, 2011). A Figura 3 mostra uma plantação de aveia no estado do Paraná, safra de 2012, incentivada pela indústria de processamento de cereal localizada nesta região.

Apesar de a aveia apresentar um excelente perfil nutricional quando comparada aos demais cereais, o seu baixo conteúdo energético reduz seu valor comercial como grão para ração destinada a qualquer outra criação se não cavalos e bezerros. Estes fatores limitam a expansão da produção de aveia na maioria das regiões (Webster and Wood, 2011). Paradoxalmente, o consumo da aveia aumenta em proporção inversa a sua produção (Labell, 1992).

**Figura 3** – Plantação de aveia no estado do Paraná -Brasil



**Fonte:** autora, 2012

### 3.1.3 Benefícios à Saúde

Em 1994, o governo dos Estados Unidos, preocupado com os altos índices de obesidade no país, criou um órgão intitulado *The Center of Nutrition Policy and Promotion*. Em seu *website* ([www.choosemyplate.gov](http://www.choosemyplate.gov)), é evidenciada a importância da ingestão diária de fibras e grãos integrais para melhor funcionamento do intestino e saciedade.

Há também uma crescente variedade de produtos desenvolvidos pela indústria para incorporar cereais e fibras na dieta sem alterar radicalmente as características sensoriais dos alimentos de consumo habitual.

Em países em desenvolvimento, pessoas tendem a consumir quantidades excessivas de carboidratos, proteínas e lipídios (Ferrari *et al.*, 2009). Tal hábito eleva o risco de serem acometidas por algumas doenças crônicas, como a obesidade, diabetes mellitus tipo 2 e doenças cardiovasculares (McKeown *et al.*, 2002). É fato que os cereais estão sendo utilizados para produzir farinhas refinadas contendo quase que somente o endosperma dos grãos (amido), e não o gérmen e o farelo que contém fibras, minerais, vitaminas e outros fitoquímicos (Rose *et al.*, 2012). No entanto, no contexto atual, a sociedade, cada vez mais, vem demonstrando preocupação com as possíveis relações entre os nutrientes que consome e a sua saúde. Embora exacerbada recentemente, essa preocupação data de tempos imemoriais. Certificando sua história, pode-se reportá-la a cerca de 400 a.C., quando Hipócrates postulou o seguinte mandamento: “Que teu alimento seja teu remédio”. Hoje, após 2.400 anos, essa filosofia é atual e serve de paradigma para a nova modalidade de produtos conhecidos como promotores da saúde (De Francisco, 2006).

A relação entre uma alimentação equilibrada e a manutenção da saúde continua despertando interesse na comunidade científica, que produz inúmeros trabalhos visando comprovar a atuação de certos alimentos na redução do risco de doenças. Tais estudos trazem evidências de que alguns alimentos, hoje conhecidos como “alimentos funcionais”, auxiliam a reduzir o risco de algumas doenças e promovem algum bem a saúde dos consumidores, se consumidos regularmente em quantidades suficientes para atuarem no organismo humano (Ferrari *et al.*, 2009).

Em 1999, o Ministério da Saúde, por intermédio da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), aprovou os regulamentos técnicos para análise e comprovação de propriedades funcionais e/ou de saúde alegadas em rótulo de alimentos e para registro de alimentos com tais alegações (ANVISA, 2008), sendo a aveia considerada um alimento funcional.

Alimentos funcionais podem ser obtidos utilizando-se cereais como ingredientes principais em uma formulação (Ferrari *et al.*, 2009). A aveia, devido ao seu alto teor de fibra solúvel, do tipo  $\beta$ -glucana vem sendo utilizada na elaboração de alimentos funcionais. De acordo com a ANVISA (2008), a beta glucana (fibra alimentar) auxilia na redução de colesterol. No entanto, seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis.

Embora para este trabalho o foco seja o desenvolvimento tecnológico e a avaliação da aceitação de um novo produto a base de aveia, os benefícios à saúde inerentes ao consumo desta nova formulação foram o ponto de partida para escolha deste cereal.

### 3.2 A EXTRUSÃO NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

A extrusão de alimentos vem sendo praticada há mais de 70 anos. Inicialmente, este tipo de processo era restrito à elaboração de massas e *pellets* de cereais para consumo humano, também conhecidos como *ready-to-eat* (RTE). Atualmente, o extrusor é considerado um biorreator de alta temperatura e curto tempo, que transforma uma variedade bastante grande de ingredientes crus em intermediários modificados e produtos finais. O ímpeto deste vasto desenvolvimento deve-se às vantagens inerentes ao processo de extrusão: 1) Processo contínuo de alto rendimento, 2) Eficiência energética, 3) Processamento de materiais secos viscosos, 4) Melhora da textura e aroma característicos dos alimentos, 5) Controle de mudanças devido à degradação térmica de alguns constituintes dos alimentos, 6) Uso de ingredientes não convencionais (Mercier *et al.*, 1989).

O extrusor consiste de um ou dois parafusos (ou rosca sem fim) giratórios, firmemente acoplados dentro de um cilindro (canhão). A matéria-prima é alimentada por uma rosca dosadora para dentro do canhão. O parafuso, ao girar, empurra o produto a passar na direção da matriz (seção radial menor que a do cilindro), revirando-o e pressionando-o contra as paredes do mesmo, e exercendo sobre ele um trabalho de cisalhamento, transformando-o em uma massa fundida e uniforme, sob ação de temperatura e pressão. O produto absorve calor por dissipação viscosa de energia mecânica aplicada no parafuso (devido à força de cisalhamento) e, ao deixar a matriz, pode expandir ou não, dependendo das características do material (EMBRAPA, 2012).

Extrusores são capazes de processar ingredientes granulares de cereais. Durante o transporte da massa, a energia mecânica requerida para girar o parafuso é convertida em calor, elevando a temperatura da massa para valores superiores a 150°C. Os ingredientes plastificam-se e são, assim, impulsionados até a matriz do equipamento. A pressão gerada próxima à matriz causa expansão quando há água em alta temperatura na formulação, pois esta se converte em vapor muito rapidamente com a mudança de pressão (Frame, 1994).

O uso de extrusoras dupla rosca para o processamento de alimentos já se estende por mais de 40 anos. Estas máquinas têm melhorado a capacidade de mistura e

transporte da massa por meio de diferentes perfis de roscas que são criados a partir de diferentes seções com eixos paralelos. Há um grande interesse em equipamentos de dupla rosca, pela sua versatilidade operacional e extensa faixa de aplicações (Kim *et al.*, 2006).

A extrusão de produtos a base de cereais tem se mostrado mais vantajosa quando comparada aos demais métodos de processamento devido ao seu baixo custo, alto rendimento e produtividade, versatilidade e economia de energia (Faraj *et al.*, 2004).

O processo de extrusão desencadeia uma variedade grande de mudanças químicas, incluindo a gelatinização do amido, ligações cruzadas entre proteínas e geração de odores (Altan *et al.*, 2008). Para controlar tais mudanças com maior destreza é preciso entender quais os parâmetros podem influenciar no processo.

### 3.2.1 Variáveis e Parâmetros Operacionais do Processo

A capacidade de absorção de água do material amiláceo cru é normalmente elevada com o processamento em extrusora, uma vez que a estrutura granular do amido é rompida, expondo sítios de interação devido ao aumento da superfície do material em contato com o meio. O amido cru, que é parte predominante nas farinhas, absorve apenas 30% do seu volume em água, em temperatura ambiente. Esta capacidade de absorção é elevada em consequência da gelatinização (Fennema *et al.*, 2010).

Altas rotações de rosca causam principalmente duas situações, a redução do tempo de residência do produto dentro do extrusor e também o aumento do cisalhamento mecânico da massa. Para garantir drasticidade no processamento, é necessário que a rotação da rosca esteja bastante elevada. No entanto, por diminuir consideravelmente o tempo de residência da massa, pode-se comprometer por consequência a gelatinização do amido, o que pode prejudicar a expansão do produto e também sua instantaneidade. Para solucionar esta questão, pode-se cogitar o uso de um pré-condicionador que poderá auxiliar no cozimento do produto antes deste ser injetado na extrusora, ou determinar-se o melhor tempo de residência e temperatura dentro do canhão (Mercier *et al.*, 1989).

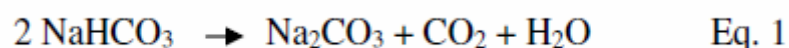
O aumento da temperatura da camisa do extrusor pode ser um aliado no cozimento da massa. No entanto, deve-se alertar para o limite máximo de temperatura tolerado pelos ingredientes do processo, para que não haja transformações sensoriais desfavoráveis à qualidade do produto final (Caldwell, 2005).

A redução do teor de umidade da massa também é fator importante para aumentar a drasticidade do processamento. Umidades abaixo de 20% são consideradas baixas

e não suficientes para lubrificar o sistema, melhorando o atrito e transformação do produto. Baixas umidades também possibilitam boa expansão dos extrusados e auxiliam na formação de dextrinas (Mercier *et al.*, 1989).

### 3.2.2 Utilização de Bicarbonato de Sódio em Extrusão

O bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) é um ingrediente amplamente utilizado na panificação. Em meios propícios, o NaHCO<sub>3</sub> tende a converter-se lentamente em carbonato de sódio, gás carbônico e água (Eq.1). Estudos apontam uma conversão de 100% do bicarbonato de sódio quando em temperaturas acima de 100<sup>o</sup> C (Hoseney *et al.*, 1992).



Pela característica de desprendimento de gás carbônico após reação, o bicarbonato de sódio vem sendo estudado como ingrediente também aplicável em produtos extrusados, com finalidade de aumentar ainda mais a expansão das células de ar e a porosidade do produto devido à ação do gás desprendido. A formação do dióxido de carbono durante a extrusão foi reportada em experimentos de expansão por extrusão (Moraru and Kokini, 2003). Hoseney e colaboradores, em 1992, afirmaram que se há adição de bicarbonato de sódio durante a extrusão de cereais, ele pode reagir com acidulantes ou ácidos produzidos pela oxidação do amido durante a extrusão e formar dióxido de carbono. A expansão de extrusados de trigo também pode ser aumentada adicionando-se bicarbonato de sódio ou carbonato à massa, o que, por consequência, pode provocar escurecimento e perda de resistência dos extrusados. Em contrapartida, Parsons e colaboradores (1996) reportaram que, ao elevar a concentração de bicarbonato de sódio e de fosfato de alumínio, até 0,45%, a expansão e densidade dos extrusados de milho diminuiriam.

Há estudos patenteados que cogitam a produção de pós instantâneos, a partir de cereais, por meio de extrusão com fluidos supercríticos, dentre eles o CO<sub>2</sub> líquido. Assim como na extrusão com bicarbonato de sódio, onde há desprendimento CO<sub>2</sub>, na extrusão supercrítica, o CO<sub>2</sub> auxilia na porosidade do produto e melhora tecnologicamente suas características de instantaneidade e solubilidade (Durand, *et al.*, 2010).

### 3.2.3 Desenvolvimento de Pó Instantâneo por Processo de Extrusão

As principais propriedades funcionais dos amidos extrusados moídos, quando dispersos em excesso de água, são a absorção de água e a solubilidade em água. Para a elaboração de bebidas a partir de amidos ou farinhas de cereais processados por extrusão, é necessário delinear um processo que aumente a solubilidade do produto obtido. Logo, o processo ideal para elaboração de bebidas por extrusão se dá em uma situação mais drástica, onde haja alto cisalhamento e, por consequência, maior formação de dextrinas e maior gelatinização do amido (EMBRAPA, 2012).

Alimentos instantâneos ou aglomerados são produtos que se dissolvem facilmente na água. As propriedades instantâneas de alguns produtos podem ser obtidas na operação de secagem, com o auxílio de substâncias dispersantes. O processo de instantaneização tem sido utilizado em leite em pó, café solúvel, cacau, bebidas em pó, sopas desidratadas, farinhas, pudins desidratados e outros produtos alimentícios (Gava *et al.*, 2008).

Gava, em seu livro intitulado Tecnologia de Alimentos -Princípios e Aplicações (2008), cita as principais propriedades envolvidas no complexo processo de dissolução do pó em água:

1) Molhabilidade (*wettability*), que é a capacidade do pó de absorver água na sua superfície. Pós com grande quantidade de gordura (leite em pó integral, por exemplo) apresentam uma molhabilidade ruim.

2) Imersibilidade (*sinkability*), que é a capacidade do pó de imergir na água após ter sido umedecido. Essa propriedade depende da diferença de densidade entre o pó e o líquido de reconstituição. A densidade da partícula é determinada não só pelo produto em si, mas também pelo volume de ar presente nos chamados vacúolos de partícula.

3) Dispersibilidade (*dispersability*), que é a capacidade do pó de se dispersar na água como partícula simples, ou, em outras palavras, é a capacidade do aglomerado de se separar. É medida como o tempo necessário para uma determinada quantidade de pó dispersar-se em água.

4) Solubilidade, que é uma característica que está relacionada com a velocidade de dissolução e com a solubilidade total.

## 4 ARTIGO 1: SODIUM BICARBONATE EFFECTS ON THE MICROSTRUCTURE AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF EXTRUDED OAT FLOUR

### 4.1 INTRODUCTION

Extrusion cooking has been used for more than 80 years. It is a high temperature, high pressure and short time process which involves changes in rheological and sensorial properties of processed materials (Kim *et al.*, 2006). Ready-to-eat-cereals, snacks, pet food, confectionary products, texturized vegetable protein and macaroni are the main extruded products and each product requires some specific property imparted by extrusion, such as forming a uniform dough, ingredient modification, protein cross-linking reactions, crispy or chewy texture, improving flavor or/and expansion (Altan *et al.*, 2008). Expansion ratio does not only play an important role in the snacks and ready-to-eat-cereals production but it also affects, indirectly, the water absorption index and product solubility (Charunuch *et al.*, 2003).

Expansion properties of extruded cereal flours and also the sodium bicarbonate effects on cereal extrusion have been widely studied. The formation of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , water and carbon dioxide during sodium bicarbonate extrusion was reported to raise extruded expansion (Moraru and Kokini, 2003). Hosney *et al.* (1992) reported sodium bicarbonate can react with acids produced by starch oxidation to form carbon dioxide. Lai *et al.* (1989) reported an improvement in the wheat extrudates' expansion ratio using sodium bicarbonate but at same time the extruded product was weaker and browned. Cornmeal expansion ratio increased and apparent bulk density decreased with the increase of sodium bicarbonate and sodium aluminum phosphate concentration from 0 to 0.45% (Parsons *et al.*, 1996). In black beans snacks, the sodium bicarbonate was reported as an ingredient to raise the snack expansion (Berrios *et al.*, 2004).

Patents were published using supercritical fluids, mainly liquid  $\text{CO}_2$ , in order to produce extruded instant powders. As well as in the extrusion with sodium bicarbonate, which involves gas liberation, during super critical extrusions the released  $\text{CO}_2$  can increase extruded product porosity, its instantaneity and solubility (Durand *et al.*, 2008, 2010).

To the very best of our knowledge nothing has been reported in the open literature about the relationship between sodium bicarbonate and extruded oat flour. The

nutritive value and heart-health claim of whole-grain oat have been recognized not only by customers but also by food industry (Webster and Wood, 2011). Oat is accepted as a functional food by FDA since 1997. Its high level of soluble fiber ( $\beta$ -glucan) plays an important role in the reduction of blood cholesterol level (Drzikova *et al.*, 2005).

Whole-grain oat flour, an ingredient used in bakery, snacks and beverage industries, is produced by milling the whole oat kernel. The whole oat flour has two to three times more lipid than those of wheat, barley, rice and corn (Webster and Wood, 2011) and that is the main problem concerning to producing oat based expanded products. Its protein concentration is also 5 – 7% higher than rice and corn protein percentages (Gutkoski, 2000).

The aim of this work was to investigate the relationship between sodium bicarbonate concentration and bulk expansion, microstructure and physicochemical properties of extruded whole oat flour.

## 4.2 MATERIALS AND METHODS

### 4.2.1 Materials

Whole oat flour, which had 73.74% carbohydrates (62.77% starch), 16.84% protein, 2.09% ash, 7.33% lipids, 10-14% dietary fiber (d.b.) and 8.8% moisture, was kindly provided by SL Cereais e Alimentos Ltda (Mauá da Serra, Brazil). The sodium bicarbonate was sold by Raudi Indústria e Comércio Ltda (São Paulo, Brazil).

### 4.2.2 Methods

#### 4.2.2.1 Extrusion of oat flour

The extrusion experiments were performed on a co-rotating double screw extruder (BC72, Clextral, Firminy, France), with ratio length/diameter of 13:1 (Figure 4). The five barrel heating zones, from the feed to the die, were kept at 25, 80, 130, 150 and 150 °C. The extruder was operated with a constant feed rate of 300 kg h<sup>-1</sup>, water injection of 25 L h<sup>-1</sup> and 250 rpm. The die had 300 holes, each one with 1.2 mm of diameter. These conditions were set at a trial of preliminary tests, aiming to obtain whole oat flour with the highest expansion ratio while processing without sodium bicarbonate.

The oat flour was mixed with sodium bicarbonate, prior to extrusion, in a mixer (Equipar, Campinas, Brazil). Five runs were performed three times, using different sodium bicarbonate concentrations: 0; 0.3; 0.5; 1.0 and 5.0%. The extruded samples were coded as EOF<sub>x</sub>, being x the content of sodium bicarbonate, while the unprocessed oat flour was coded as OF. For each run 200 kg of the final mixture were used. After stable conditions were established, 15 kg of each test were collected and equilibrated at room temperature. Extruded material was divided and half was stored at room temperature in plastic bags and half was milled with a hammer miller (Marconi, Piracicaba, Brazil) and standardized to pass through a 250  $\mu\text{m}$  mesh sieve.

**Figure 4** – Illustrative picture of Clextral® BC72



**From:** Clextral® Equipment Manual

#### 4.2.2.2 Expansion

Fifty cross-section extruded diameters of each test were measured using a digital caliper (Mitutoyo, Suzano, Brazil), in millimeters. The expansion ration was calculated by dividing the cross-sectional area of the extrudates by the cross-sectional area of the 1.2 mm die orifice (Ding *et al.*, 2005).

#### 4.2.2.3 Cellular structure determination

X-ray tomography scans were acquired with 1172 MCT system (Skyscan, Kontich, Belgium) with X-ray source of 35 kV and 211 microA. For a pixel size of 5 microm, the camera was set up at 2000 \_ 1024 pixels with an exposure time of 500 ms. Scans were performed on a representative specimen of each experiment over 180°, the rotation step was 0.4° and the frame averaging was 5. The complete scan procedure for one sample took approximately 20 minutes. The reconstruction of the data set (Skyscan recon software) was performed over 800 slices on average.

2D image analysis was performed on 10 micrometers per pixel datasets with CTAn software (Skyscan, Kontich, Belgium). After segmentation of the grey level images change from 40 to 60, the selection of the region of interest was performed through round ROI. The porosity of the pellets was then calculated as the ratio of the volume of pores to the extrudate volume, the extrudate volume being equal to the region of interest previously defined (Robin *et al.*, 2010).

#### 4.2.2.4 Color evaluation

The color of the milled product was evaluated in the L\*, a\* and b\* system using a colorimeter (Konica Minolta, Tokyo, Japan) equipped with xenon lamp. It was calibrated with a white tile (L\* = 94.4000; a\* = 0.3134; b\* = 0.3205). Color measurements were determined by holding the sensing head in direct contact to the surface of flours, which was arranged with a spatula, in order to avoid irregular areas. Every sample was measured ten times. The L\*, a\* and b\* readings were obtained directly from the instrument providing measurements of lightness, redness and yellowness, respectively.

#### 4.2.2.5 Water activity

Water activity was measured by a water activity meter (AquaLab 4TE, Pullman, United States) by placing the sample in a disposable sample cup, completely covering the bottom of the cup and inserting it in the equipment previously calibrated and programmed. The equipment provides the water activity readings, which is based on the dewpoint technique. Sample is equilibrated with the head-space of a sealed chamber that contains a mirror and a means of detecting condensation on the mirror. At equilibrium, the

relative humidity of the air in the chamber is the same as the water activity of the sample. Every sample was analyzed three times (AquaLab Operator's Manual, 2012).

#### 4.2.2.6 Hydrogen-ion activity (pH)

Ten grams of each milled sample were dispersed in 100 mL of distilled water. The system was mixed continuously until it was totally homogenized and the particles were suspended. The pH was determined using a calibrated pH meter.

#### 4.2.2.7 Water solubility index and water absorption index

Water solubility index (WSI) was determined using the method of Anderson *et al.* (1969). The extruded samples were ground and sieved through a 250  $\mu\text{m}$  mesh. Samples ( $1.0 \pm 0.005\text{g d. b.}$ ) were dispersed in 10 mL of deionized water, agitated until the water be totally in contact to the powder, then the sample was leaved at room temperature ( $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ) for 30 minutes and centrifuged twice at  $9000 \times g$  for 15 min. WSI was defined as the percentage of dry solid weight in the supernatant phase over the dry sample weight. The solid weight in the supernatant phase was known by drying it overnight in oven at  $90^\circ\text{C}$ . Water absorption index (WAI) was calculated by weighing the gel with no supernatant and dividing it per the dry sample weight. Measurements were done four times for each sample.

#### 4.2.2.8 Solid stability in water

The solid stability in water was determined mixing 3.0g of flour to 50 mL of deionizer water at  $25^\circ\text{C}$  for 90 seconds, inside a 50 mL graduated cylinder. The blend was left at room temperature for 10 minutes and the volume of sediment was checked through the graduated glass in milliliters, according to the modified method described by Charunuch *et al.*, 2003.

#### 4.2.2.9 Viscosity

The viscosity of flour pastes was determined using a Rapid Visco-Analyzer (RVA) model RM6 (Lauda-Brinkmann, Delran, United States). Oat flour samples were

standardized to pass through a 106 – 212  $\mu\text{m}$  mesh sieve. Flour (4g, 14% moisture basis) was added to 25mL of distilled water already poured into the test recipient. The spindle speed of 160 rpm was used to disperse the sample at 25 °C and after stabilization the viscosity (cP) was recorded. The analysis was performed twice for every sample.

#### 4.2.2.10 Scanning electron microscopy

The milled product was analyzed by a scanning electron microscope (Philipps-FEI Quanta 200, Tokyo, Japan). The samples were added on stubs and had their surfaces covered with gold by the specific equipment BAL-TEC BALZERS (Sputter Coater, SCD 050, Germany). After prepared, the samples were amplified and their surfaces were photographed.

#### 4.2.2.11 Statistical analysis

For each analysis, ANOVA and Tukey test were calculated by Statistica 7.0, using less or 5% of significant difference level.

### 4.3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 4.3.1 Expansion

The results of expansion of the extruded products are shown in Table 2. It was observed an expansion decrease as sodium bicarbonate concentration increased. During extrusion processing it was observed that oat flour extrudates with sodium bicarbonate could not maintain their structure, occurring frequent breakages. As higher the sodium bicarbonate concentrations were at extruded oat flour, as smaller the extruded products were and their superficial area was irregular, which suggest that external and probably also internal air cells were collapsed. In Figure 5, which shows the extruded samples before milling, it is possible to observe that the size of extruded products are smaller when  $\text{NaHCO}_3$  concentration is higher. That suggests the dough was affected by the excess of steam and  $\text{CO}_2$ , probably that is why extruded products were broken in smaller pieces when  $\text{NaHCO}_3$  was in higher concentrations.

**Table 2** – Expansion index and porosity percentage of extruded products

Samples	Expansion	Porosity (%)
EOF 0.0	2.63 ± 0.88 <sup>c</sup>	35.57 ± 2.66 <sup>ab</sup>
EOF 0.3	2.30 ± 0.21 <sup>b</sup>	26.56 ± 4.15 <sup>b</sup>
EOF 0.5	2.21 ± 0.35 <sup>ab</sup>	43.59 ± 4.98 <sup>a</sup>
EOF 1.0	2.07 ± 0.29 <sup>a</sup>	38.65 ± 5.84 <sup>a</sup>
EOF 5.0	2.07 ± 0.29 <sup>a</sup>	37.37 ± 6.80 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> Different letters in the same column indicate significant differences ( $p \leq 0.05$ ) according to the Tukey's test

As reported by several authors (Lai *et al.*, 1989; Parsons *et al.*, 1996; Berrios *et al.*, 2004), it was expected to observe an increase in this parameter with the increase of the sodium bicarbonate concentration. The expansion might be positively affected by sodium bicarbonate because when temperature reaches 100 °C, 100% of NaHCO<sub>3</sub> is converted to Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>, then CO<sub>2</sub> and steam are released when the product leaves the extruder, improving expansion (Lai *et al.*, 1989).

Sodium bicarbonate increased extrusion expansion of maize grits at 125 °C and decreased it at 175 °C, which suggest that drastic extrusion conditions can affect the dough viscoelastic properties and the cell walls are keen to be easily collapsed (Singh *et al.*, 2000). Extruding oat flour with sodium bicarbonate at 150 °C in our research seems to show the same phenomena; although the steam and CO<sub>2</sub> were intensified due to the increase of sodium bicarbonate concentration, the expansion was not positively affected due to the low resistance from the oat dough, which can be also seen in Figure 5. As long as the study aimed the most drastic situation while extruding, the dough was collapsed by the excess of steam and CO<sub>2</sub>, which could not be stand by oat starch, probably because the high level of protein, lipids and fiber in the flour. Ryu *et al.* (1993) also have not found significant influence from sodium bicarbonate concentration added to wheat flour in the sectional expansion index when it was added at 0.1% to 0.5%. It is reported that when sodium bicarbonate was added to corn starch before extrusion, the expansion ratio decreased with increasing concentration, that might occurs because sodium bicarbonate degraded the starch molecules, which is known to reduce expansion (Chinnaswamy and Hanna, 1988).

**Figure 5** – Extruded products before milling

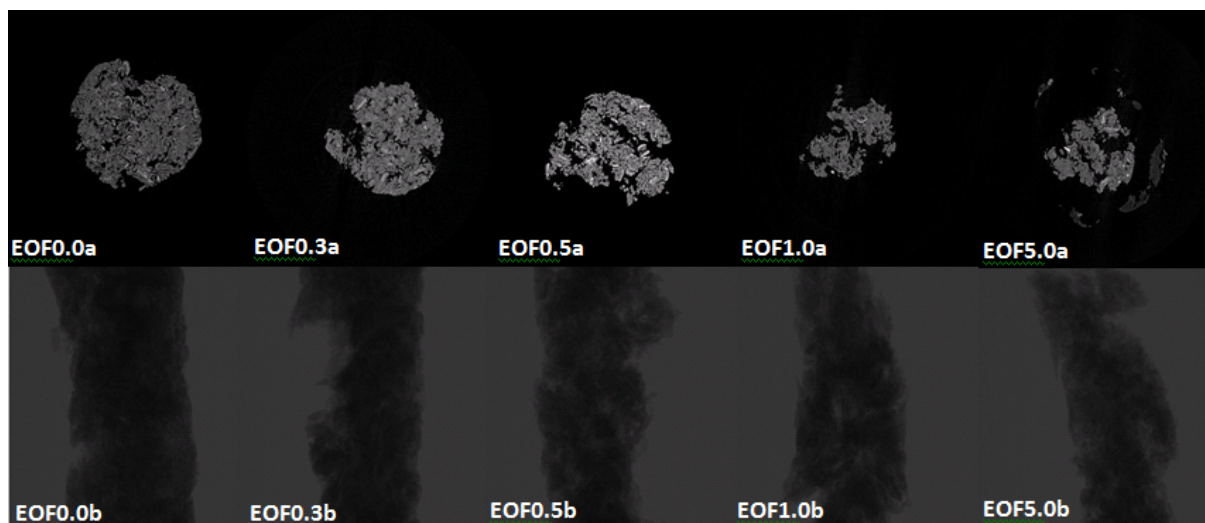


#### 4.3.2 Cellular Structure Determination

The X-RT pictures of the samples' structure are reported in Figure 6. The pictures a and b of EOF0.0 shows a more consistent and less destroyed structure. However, as sodium bicarbonate is increased, samples showed more irregularities in their structure, which is shown in both transversals and longitudinal section pictures.

It is possible to observe that, while sample with no sodium bicarbonate (EOF0.0a and EOF0.0b) is shown more integrality, as sodium bicarbonate is increasingly added, the extruded structure are proportionally more irregular, probably because of the peripheral air cells collapse. The air cells of sample with no sodium bicarbonate are quite regular and had a nearly spherical shape. However, as  $\text{NaHCO}_3$  concentration increase, no increase in expansion was shown but general irregular shape and walls were observed. This effect on cell characteristics was previously discussed by some authors but not quantitatively described (Della Valle *et al.*, 1997; Desrumaux *et al.*, 1998). These results suggest that the less isotropic the extruded foam, the larger and less numerous its cells and walls, hence the coarser its cellular structure, which confirms the results of Desrumaux *et al.* (1998) and Robin *et al.* (2010).

**Figure 6** – Radial (a) and longitudinal (b) X-ray tomography images of oat flour extrudates with different NaHCO<sub>3</sub> concentration



The porosity of extruded products, analyzed by X-RT, is presented in Table 2. No differences were found among the samples processed without or with sodium bicarbonate. These results could be also explained by the dough's low resistance. Whereas the release of CO<sub>2</sub> was intensified, there was no structure to maintain the expansion and porosity in the extruded product. Although whole oat flour has a high starch concentration (62.77% (d.b.)), the presence of other constituents, as proteins (16.84%), lipids (7.33%) and also  $\beta$ -glucans restricts the expansion capacity of the melted dough. As explained by Caldwell *et al.* (2005), while corn, rice and some other grains with no germen are used in extrusion process in order to get expanded and crunchy products, oat is usually mixed to other ingredients in order to avoid collapse in the air cells, which walls are not resistant to great expansion.

For calculating the porosity percentage, the analyst must determine a fixed area to the equipment's software. This area will be considered for analyzing every sample and, in order to avoid irregular borders, the most internal circle was provided as the fixed area. Although no significant differences were observed in samples' porosity data, only the internal circle was applied for calculating the results. This calculating system might not take under consideration the external structure, which was apparently being greatly affected and disrupted when sodium bicarbonate was increasingly added, as shown in the figure 5, sample EOF5.0a. Moreover, despite not having a significant difference in the porosity percentage, samples with higher NaHCO<sub>3</sub> concentrations were more fragile, due to the disrupted dough, than the ones with no NaHCO<sub>3</sub>. Lai *et al.* (1989) also observed the decrease of strength of extruded wheat starch when sodium bicarbonate was added.

### 4.3.3 Color

The colorimetric data for parameters of lightness ( $L^*$ ), yellow-blue hue ( $a^*$ ) and redgreen hue ( $b^*$ ) of the raw and extruded oat flours are presented in Table 3.

**Table 3** – Color of raw and extruded oat flours

Samples	$L^*$	$a^*$	$b^*$
OF	71.58 <sup>a</sup>	2.21 <sup>b</sup>	3.05 <sup>a</sup>
EOF 0.0	64.62 <sup>bc</sup>	2.36 <sup>cd</sup>	12.58 <sup>bc</sup>
EOF 0.3	63.55 <sup>b</sup>	2.43 <sup>d</sup>	12.31 <sup>b</sup>
EOF 0.5	67.05 <sup>c</sup>	2.18 <sup>b</sup>	12.87 <sup>bc</sup>
EOF 1.0	65.85 <sup>bc</sup>	2.25 <sup>bc</sup>	13.31 <sup>c</sup>
EOF 5.0	65.31 <sup>bc</sup>	1.29 <sup>a</sup>	15.13 <sup>d</sup>

<sup>a,b,c,d</sup> Different letters in the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ ) according to the Tukey's test

All extruded samples were darker (lower  $L^*$ ) than the native OF, but no differences were observed in the darkness between extruded oat flour with different concentration of sodium bicarbonate. Differently from Berrios (2004) and Hosney *et al.* (1992) who reported a significant increase in the black beans and wheat snacks' darkness, respectively, when increasing  $\text{NaHCO}_3$  concentration. Cereal products generally contain reducing sugars that promote nonenzymatic browning, the Maillard reaction, which promotes darkening of the extruded products (Berrios *et al.*, 2004). The browner and darker color of extruded cereal may have been a result of low quantity of water available in the extrusion process, which can be even more affected by  $\beta$ -glucan concentration (Grigelmo-Miguel *et al.* 2001), similar effects were reported by Yoa *et al.* (2006). Additionally, the added  $\text{NaHCO}_3$  may also cause caramelization during extrusion, as reported before by Lai *et al.* (1989), contributing to the darkness. The  $L^*$  values obtained for extruded oat flours were higher (lighter) than the  $L^*$  values reported for other cereal snack products, reported in the range of 45–55  $L^*$  value (Wolk, 1999). Berrios *et al.* (2004) also found  $L^*$  values between 60 -70 for extruded black bean using different concentrations of sodium bicarbonate.

Hue values (type of color) led to conclusion that extrusion cooking and also sodium bicarbonate addition are keen to significantly lead the product to yellowish color (higher  $b^*$ ), even though this parameter has been increased also in the extruded sample without  $\text{NaHCO}_3$ . When sodium bicarbonate is applied at 5.0%, there is a tendency of

greenish color (lower  $a^*$ ). Probably these color changes are the result of alkaline reactions in the dough.

Berrios *et al.* (2002) reported that the pH of extruded bean flours increases with an increase in  $\text{NaHCO}_3$ , and the differences in pH variability were larger than pH variability of nonextruded flours. They attributed the larger increase in pH values of the extruded flours to more effective alkaline reactions of  $\text{NaHCO}_3$  resulting from the combined effect of multiple extrusion processing operations such as mixing, kneading, shearing, cutting and cooking. Therefore, we conclude that the greenish color of the extruded oat flours was a result of nonenzymatic color changing influenced by the pH and heating conditions of the oat flours during extrusion.

#### 4.3.4 Water Activity

Water activity ( $a_w$ ) results are shown in the Table 4. Water activity is a measurement of the energy status of the water in a system. It indicates how tightly water is “bound”, structurally or chemically, within a substance. Water activity is the relative humidity of air in equilibrium with a sample in a sealed measurement chamber. The concept of water activity is of particular importance in determining product quality and safety. Water activity influences color, odor, flavor, texture and shelf-life of many products. It predicts safety and stability with respect to microbial growth, chemical and biochemical reaction rates, and physical properties (Fennema *et al.*, 2010).

**Table 4** – Water activity and pH of raw and extruded oat flours

Tests	$a_w$	pH
<b>OF</b>	0.60 <sup>c</sup>	6.22 ± 0.02 <sup>b</sup>
<b>EOF 0.0</b>	0.37 <sup>b</sup>	6.06 ± 0.05 <sup>a</sup>
<b>EOF 0.3</b>	0.32 <sup>b</sup>	7.29 ± 0.01 <sup>c</sup>
<b>EOF 0.5</b>	0.34 <sup>b</sup>	8.33 ± 0.03 <sup>d</sup>
<b>EOF 1.0</b>	0.22 <sup>a</sup>	8.97 ± 0.01 <sup>e</sup>
<b>EOF 5.0</b>	0.23 <sup>a</sup>	9.97 ± 0.01 <sup>f</sup>

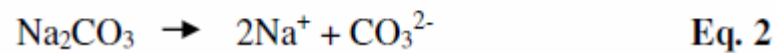
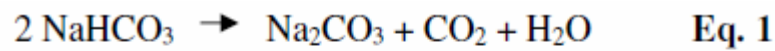
<sup>a, b, c, d, e, f</sup> Different letters in the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ ) according to the Tukey’s test.

The extrusion process itself decreases  $a_w$  significantly, probably because of the decrease of moisture due to the steam released when the product leaves the extruder. The  $a_w$  of EOF0.0 (0.37) is lower than that of OF (0.60). Sodium bicarbonate also decreases water

activity when concentration was higher than 1.0%, obviously because of the linkage of the salt and water molecules, which decrease the concentration of released water molecules and, consequently aw (Fennema *et al.*, 2010).

#### 4.3.5 Hydrogen-Ion Activity (pH)

The pH values of the extruded oat flours (Table 4) increased when increasing NaHCO<sub>3</sub> concentration. It is because Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, which is an alkaline salt, turns to 2Na<sup>+</sup> and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, as shown in Eq. 2.



These processing operations, which involve extrusion with NaHCO<sub>3</sub>, may have promoted chemical reactions between NaHCO<sub>3</sub> and macromolecules in oat flours, particularly protein and starch (Berrios *et al.*, 2002), that represent the largest portion of components in oats flour, which also modified the pH. However, extruded oat flour (EOF) demonstrated slightly lower pH value than nonextruded one (OF). This decrease in pH value was probably due to a more effective interaction among the different compounds in the extruded oat flour resulting from the extrusion process.

#### 4.3.6 Water Solubility Index (WSI) and Water Absorption Index (WAI)

The effects of extrusion on WAI and WSI of raw and extruded oat flours with different sodium bicarbonate concentrations are shown in Table 5.

**Table 5** – Water Solubility Index (WSI) and Water Absorption Index (WAI) of the raw and extruded oat flours

Samples	WAI	WSI
OF	2.72 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.73 ± 0.26 <sup>a</sup>
EOF 0.0	5.37 ± 0.55 <sup>b</sup>	6.62 ± 0.17 <sup>c</sup>
EOF 0.3	6.38 ± 0.03 <sup>c</sup>	4.28 ± 0.24 <sup>b</sup>
EOF 0.5	6.20 ± 0.20 <sup>c</sup>	3.98 ± 0.26 <sup>b</sup>
EOF 1.0	6.09 ± 0.32 <sup>c</sup>	4.92 ± 0.17 <sup>b</sup>
EOF 5.0	6.08 ± 0.06 <sup>c</sup>	4.79 ± 0.34 <sup>b</sup>

<sup>a, b, c</sup> Different letters in the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ ) according to the Tukey's test.

The WAI measures the sample weight after swelling in excess water. Extrusion process increases WAI of oat extrudates when compared to the raw flour. Also the addition of NaHCO<sub>3</sub> significantly increases the WAI. However, raising its concentration does not cause significant increase in WAI. In the whole oat flour, water is absorbed not only by starch, but also by  $\beta$ -glucans, proteins and fibers. Protein and fiber also play an important role in increasing WAI (BeMiller, 2007). Proteins might have been denatured due to high temperatures and pressure in extrusion (Mercier, 1989). Liu *et al.* (2010) demonstrate the individual effect of starch, proteins and  $\beta$ -glucans in the oat flour pasting properties, indicating that every compound is important and make changes when gearing and heating whole oat flour. Lai *et al.* (1989) reported that adding NaHCO<sub>3</sub> in the extrusion process raises the WAI of wheat flour. Adding NaHCO<sub>3</sub> in the oat flour extrusion process also helped to increase WAI, probably because of starch gelatinization optimization and protein and  $\beta$ glucan chain changes that might affect positively the water absorption.

In the present study, extrusion process was found to have a significant effect on increasing the WSI of extrudates, compared to OF, probably because extrusion process might have affected molecular structures (Mercier *et al.*, 1989). However, when NaHCO<sub>3</sub> is used in the extrusion process, independently of its concentration, WSI is significantly decreased, when compared to those of EOF0.0. The effect of pH values, which interferes significantly in the compounds' solubility (Fennema *et al.*, 2010) could explain these results. During the extrusion process, starch, proteins and fibers are transformed by the high pressure, temperature and gear (Mercier *et al.*, 1989). Starch gelatinization normally increases the water solubility; however, protein denaturation not always increases its property and, depending on the protein's molecule structure, solubility can be badly affected by its denaturation and pH, both intensified by NaHCO<sub>3</sub> high concentrations.

#### 4.3.7 Solids Stability in Water and Viscosity

The stability of solids in water is an important attribute to extruded instant beverages because it helps to determine the powder behavior when applied in aqueous liquids. As shown in Table 6, stability of solids of oat flours decreases with extrusion process (comparing EOF0.0 to OF) and increases with the inclusion of NaHCO<sub>3</sub>. However, there was no difference among the different NaHCO<sub>3</sub> concentrations.

Contrasting the EOF0.0 and OF results of solids stability and viscosity, it might occur that OF is not more stable in water than EOF0.0, but EOF0.0 sediment is higher than OF due to merely the water absorption, which were intensified by extrusion. It is even more evident when observing the color of OF and EOF0.0 supernatant, which the one from OF was limpid and one from EOF0.0 was cloudy. Probably extruded material in general presented better solids stability in water because of its high viscosity (Table 6), which prevented solids sedimentation and facilitate their stabilization in suspension.

**Table 6** – Solids stability of a 6% dispersion in water and viscosity of raw and extruded flours

Samples	Stability (height of sediment, mL)	Viscosity (cP)
OF	9.00 ± 0 <sup>a</sup>	25.0 <sup>a</sup>
EOF 0.0	14.67 ± 0.58 <sup>b</sup>	106.0 <sup>ab</sup>
EOF 0.3	0 ± 0 <sup>c</sup>	172.0 <sup>bc</sup>
EOF 0.5	0 ± 0 <sup>c</sup>	427.0 <sup>e</sup>
EOF 1.0	0 ± 0 <sup>c</sup>	371.0 <sup>de</sup>
EOF 5.0	0 ± 0 <sup>c</sup>	270.0 <sup>cd</sup>

<sup>a, b, c</sup> Different letters in the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ ) according to the Tukey's test.

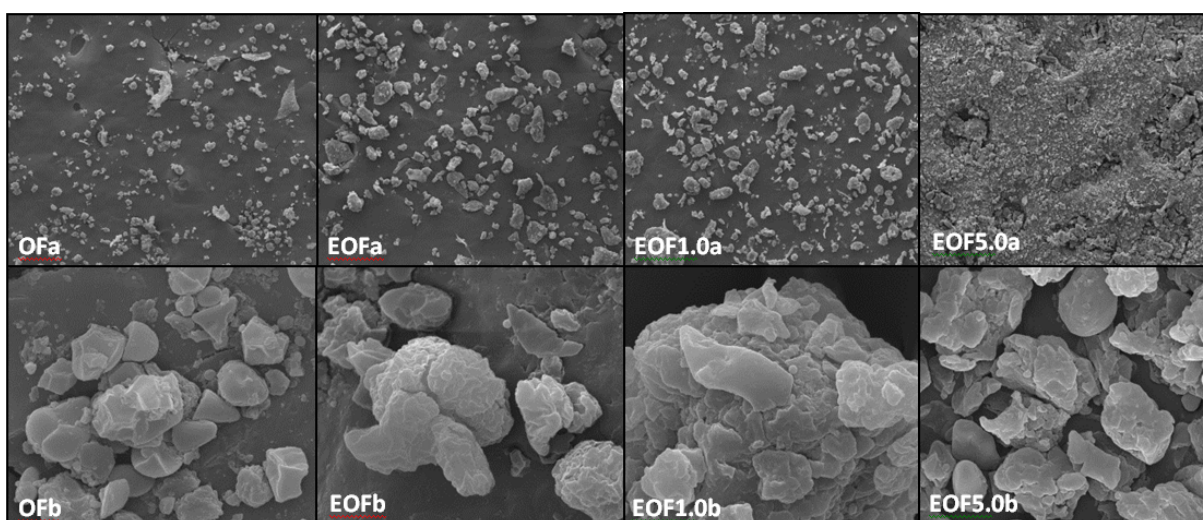
Starch,  $\beta$ -glucans and protein are responsible for viscosity of oat flour suspensions. Viscosity is intensified by starch gelatinization, which is the conversion of raw starch to a cooked and digestible material by the application of shear and heat, being one of the most important effects that extrusion causes on the starch component of foods (Fennema *et al.*, 2010). Water is absorbed and bound to the starch molecule with a resulting change in the starch granule structure (BeMiller, 2007); however, the most important reason for starch gelatinization is the gear and mechanical friction force (Mercier *et al.*, 1989). Sodium bicarbonate is found to exert the greatest effect on gelatinization (Hoseney *et al.*, 1992).

#### 4.3.8 Scanning Electron Microscopy

Not extruded (OF) and extruded and milled oat flours (EOF, EOF1.0 and EOF5.0) scanning electron microscopy images are shown in the Figure 7.

The not extruded oat flour pictures (OFa and OFb) show starch granules that are still at their native shape, which is usually round and polygonal at different dimensions. However, there are some damaged granules, probably because heating stabilization and milling process for producing whole oat flours, as observed also by Ovando-Martinez *et al.* (2013).

**Figure 7** – SEM images of raw and extruded flours amplified 200x (a) and 8000x (b)



In all pictures it is possible to observe also some structures similar to flakes, which are fragments of cell wall. Starch gelatinization is gradually increased with extrusion and with increasing of NaHCO<sub>3</sub> concentrations. Starch gelatinization can be observed by the irregular starch granules' borders and also by the distort shapes. The modified granules are forming aggregates or clusters. In addition, the figures suggest that oat powder was milled finer when sodium bicarbonate was in higher concentration (EOF1.0), then more product was adhered in the surface of golden stubbs, more clearly observed in the 200x amplified picture (a).

The results shown by Scanning Electron Microscopy analysis can be correlated to WAI, WSI and stability of solids in water. As more intensive is the starch gelatinization, as more stable the suspension. So, using sodium bicarbonate in extrusion in

order to produce instant powder is a viable way to increase water absorption, solubility and solids stability in water, which are valuable attributes in beverages development.

#### 4.4 CONCLUSION

The expansion, color, water activity, pH, WAI, WSI, stability of solids in water and viscosity of extruded oat flour were changed by addition of different sodium bicarbonate concentrations. So, sodium bicarbonate can be an ingredient in extrusion of oat flour that improves some desirable attributes depending on the aim of developments, increasing the possibilities of its application.

## 5 ARTIGO 2: RHEOLOGICAL PROPERTIES OF EXTRUDED OAT FLOURS WITH DIFFERENT NaHCO<sub>3</sub> CONCENTRATIONS AND SENSORY EVALUATION OF INSTANT POWDER BEVERAGES

### 5.1 INTRODUCTION

Today consumers have access to more information regarding health, nutrition and global trends, and their preferences are changing at a rapid pace. That makes industry provide solution that promote health, are affordable, and are palatable to consumers (Zammer and Kay, 2013). Product developers typically consider three major factors when developing their next “big idea”: ingredients, technology and process.

Whole grain oat is a very versatile ingredient widely used in bakery, biscuits, snacks, breakfast cereals, baby food and also beverages (Webster and Wood, 2011). Oat is also accepted as a functional food by FDA since 1997. Its high level of soluble fiber ( $\beta$ -glucan) plays an important role in the reduction of blood cholesterol level (Drzikova *et al.*, 2005). The U.S. Department of Agriculture’s website ([www.choosemyplate.gov](http://www.choosemyplate.gov)) recommends consumption of 6 ounce-equivalents of grains per day, which half of that being whole grain. Whole grains are good sources of B vitamins (thiamin, riboflavin, niacin and folate) and are high in fiber (Bett-Garber *et al.*, 2013).

On the other hand, as commented by Despain (2013), the point is that people do not have time to waste on preparing their own food, especially breakfast. So “the breakfast to go” or fast facilities which are healthy and nutritious are well receipted by costumers.

Offering wide variety of drinks is also important for allergic people. Many people are allergic to milk and soy proteins. In Brazil the lactose intolerance can reach 25% of adults (Ministério da Saúde, 2005) and food allergies affect 5% of the world 0-17 year-old population (Jackson *et al.*, 2013). Not only allergies modulate the people’s food consumption but also their personal aims and choices must be considered. In the United States 2.3% of adults aged 18 years or older self-classified themselves as vegetarians (Stahler, 2006).

Extrusion cooking, as a continuous cooking, mixing, and forming process, is a versatile, low cost, and very efficient technology in food processing. During extrusion cooking, the raw materials undergo many chemical and structural transformations, such as starch gelatinization, protein denaturation, complex formation between amylose and lipids, and degradation reactions of vitamins and pigments (Q.B. Ding *et al.*, 2005).

Expansion properties of extruded cereal flours and starches have been widely studied (Moraru and Kokini, 2003). Sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) is a leavening agent commonly used in the bakery industry, and it has been used in directly expanded extruded cereal products to enhance product physical properties and acceptability (Lai *et al.* 1989; Lajoie *et al.* 1996; Parson *et al.* 1996). More over  $\text{NaHCO}_3$  is used as minor ingredients to control the texture and taste of processed cereal products and drive consumer preference (Robin *et al.*, 2010). Some authors have also suggested extrusion process for preparing instant powder drinks (Charunuck *et al.*, 2003).

The aim of this work was to investigate the rheological properties of whole oat flours extruded with different sodium bicarbonate concentrations and the sensory acceptability of instant beverages prepared with them, also evaluating the commercial perspective of the developed oat drink.

## 5.2 MATERIALS AND METHODS

### 5.2.1 Materials

Whole oat flour, which was 73.74% carbohydrates (62.77% starch), 16.84% protein, 2.09% ash, 7.33% lipids, 10 -14% dietary fiber (d.b.) and 8.8% moisture, was gently provided by SL Cereais e Alimentos Ltda (Mauá da Serra, Brazil). Sodium bicarbonate (Raudi Indústria e Comércio Ltda, São Paulo, Brazil), vanilla, chocolate and strawberry aromas (Givaudan, São Paulo, Brazil), maltodextrin (Corn Products, Mogi Guaçu, Brazil). Food coloring (Mix – Indústria de Produtos Alimentícios Ltda, São Bernardo do Campo, Brazil) and sugar (União, Sertãozinho, Brazil) were also used.

### 5.2.2 Methods

#### 5.2.2.1 Extrusion process

The extrusion experiments were performed on a co-rotating double screw Clextral BC72 extruder (Firminy, France), with length/diameter of 13:1. The five barrel heating zones, from the feed to the die, were kept at 25, 80, 130, 150 and 150 °C. The extruder was operated with a constant feed rate of 300 kg h<sup>-1</sup>, water injection of 25 L h<sup>-1</sup> and 250 rpm.

The die had 300 holes, each one with 1.2 mm of diameter. These conditions were set at a trial of preliminary tests, aiming to obtain whole oat flour with highest expansion ratio while processing without sodium bicarbonate.

The oat flour was mixed with sodium bicarbonate, prior to extrusion, in a mixer (Equipar, Campinas, Brazil). Five runs were performed three times, using different sodium bicarbonate concentrations: 0; 0.3; 0.5; 1.0 and 5.0%. The extruded samples were coded as EOF<sub>x</sub>, being x the content of sodium bicarbonate, while the unprocessed oat flour was coded as OF. For each run were used 200 kg of the mixture.

After stable conditions were established, 7 kg of each test were collected and equilibrated at room temperature. Extruded material was milled with a hammer miller (Marconi, Piracicaba, Brazil) and standardized to pass through a 250 μm mesh sieve.

#### 5.2.2.2 Pasting properties of oat flours

Oat flour samples were standardized to pass through a 106 – 212 μm mesh sieve for pasting properties evaluation. The equipment used for performing analysis was Rapid Visco-Analyzer (RVA) model RM6 Lauda-Brinkmann (Delran, United States). Four grams ±0,001 of sample were added to 25mL of distilled water already poured into the test recipient. The equivalent sample mass (S) and the equivalent water mass (W) were corrected for a 14% moisture basis by using the following formula:  $S = (86 \times A)/(100 - M)$  and  $W = 25 + (A - S)$ , where A = sample corrected weight, and M = water corrected weight. The analysis was performed twice for every sample and a heating-cooling cycle, gradually increasing temperature from 25 °C to 95 °C and decreasing from 95 °C to 25 °C during 20 minutes was applied for extruded materials; and a different heating-cooling cycle, gradually increasing temperature from 50 °C to 95 °C and decreasing from 95 °C to 50 °C during 13 minutes was applied for the raw material. These different cycles were advised by the equipment manual and also used by Batey and Curtin (2000) and Whalen *et al.* (1997). Once the curve was obtained, the parameters shown in the graphics were used to evaluate the pasting temperature, cold viscosity, peak viscosity, viscosity at 95 °C, breakdown, setback and final viscosity (EMBRAPA, 2012).

### 5.2.2.3 Sensorial analysis of oat drinks

The study was approved by the Universidade Estadual de Londrina ethic committee (project n° 08189 – Annex A). Sensorial analyses were performed at Sensory Analysis Laboratory of the Food Science and Technology Department. Panelists were invited individually and each one received a term with all information about the research (Annex B) and was asked to fill a questionnaire about its personal dietary habits (Annex C). The sensory analyses were performed in three sets: ranking by preference 1, ranking by preference 2 and hedonic scale.

#### 5.2.2.3.1 *Ranking by preference 1*

The aim of this sensorial analysis step was to obtain the extruded powder that people liked the most, when used as basis for an instant beverage. In order to facilitate the evaluation of the extruded oat powder specifically, samples were prepared with lower quantities of other ingredients (sugar, maltodextrin and aroma).

Two hundred and sixty four grams of the extruded powder (54.21%) were mixed with 162.0 grams of sugar (33.26%), 60 grams of maltodextrin (12.32%), 1 gram of vanilla aroma (0.21%) and 6 L of purified water being maintained at 10 -15°C. The same recipe was prepared four times; each one changing only the extruded powder used: 0% NaHCO<sub>3</sub>, 0.3% NaHCO<sub>3</sub>, 0.5% NaHCO<sub>3</sub> and 1.0% NaHCO<sub>3</sub>. Sugar and maltodextrin were added in the recipe for avoiding extruded powder lumps. When sugar and maltodextrin were added, solubility and dispensability were easily reached. Extruded powder with 5.0% of NaHCO<sub>3</sub> was not used in the sensorial analysis because of its high pH (9.97) and bad taste.

Four samples of 30 mL, each one prepared with a different sodium bicarbonate concentration extruded powder, were offered to 30 panelists, identified by a three digits number and served in a random order.

Each panelist was asked to sort the samples according to its preference (Annex D). Samples were identified by a three digits number and served in a random order.

### 5.2.2.3.2 Ranking by preference 2

The aim of this sensory analysis was to select the drink flavor which people like the most. Three types of recipe were prepared in this set, using the extruded powder selected by the previous sensory test and different flavors (vanilla, chocolate and strawberry), according to Table 7.

**Table 7** – Shakes' recipes according to their flavor

Flavor	Ingredients (g)						
	EOF0.5	Sugar	Maltodextrin	Aroma	Coloring	Cacao	Purified Water
<b>Recipe 1 - Strawberry</b>	200g (40%)	150g (30%)	135g (27%)	10g (2%)	5g (1%)	-	2,220
<b>Recipe 2 - Vanilla</b>	200g (40%)	150g (30%)	135g (27%)	15g (3%)	-	-	2,220
<b>Recipe 3 - Chocolate</b>	200g (40%)	150g (30%)	100g (20%)	5g (1%)	-	45g (9%)	2,220

The three 30 mL samples, each one of a different flavor, identified by a three digits number, were offered to 30 panelists, served in a random order. Every panelist received the three versions and was asked to rank the samples according to its preference (Annex E).

### 5.2.2.3.3 Hedonic scale \_ attributes evaluation, acceptance and purchase intention

Fifty panelists were asked to evaluate the sample that was better evaluated in the previous sensory analysis (ranking by preference 2). The evaluation was concerned to color, taste, aroma and global acceptance, using an hedonic scale, which number 9 was equal to extremely like and 1 was extremely dislike (Annex F). Only one 30mL sample was served.

### 5.2.2.4 Statistical analysis

For analyzing the first and second ranking of preference, samples were graduated by 1 (least preferable) to 4 or 3 (most preferable). Total grade, which was considered the total rank sum of each sample was calculated by summing every individual grade. The minimum significant difference was obtained by Newell e MacFarlane (ABNT, 1994) and the results were analyzed by subtracting the total score of samples two by two.

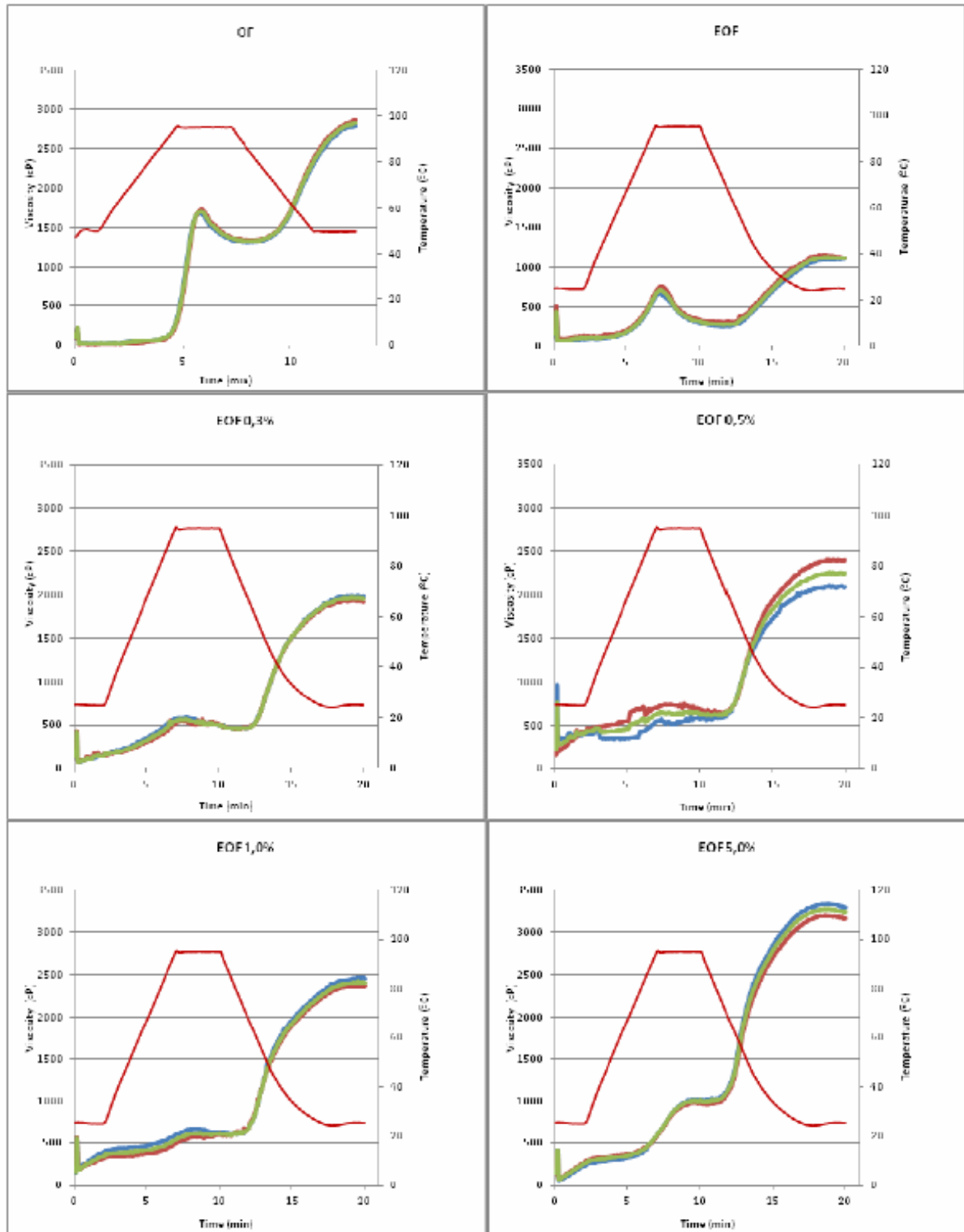
For pasting properties results and hedonic scale sensory analysis ANOVA and Tukey test were calculated by Statistica 7.0, using less or 5% of significant difference level.

### 5.3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 5.3.1 Pasting Properties –Viscosity

Pasting properties evaluation was applied due to the important role viscosity plays in the product's sensorial perception. The cold viscosity seems to be the most important parameter for oat beverage. That is because the product is instantly prepared and consumed at cooler temperatures. Viscosity and pasting properties analysis were important to discuss and better understand the sensorial evaluation of extruded oat beverages using different sodium bicarbonate concentrations, especially concerning to the texture of the developed cereal drinks. Viscosity curves of oat flours are presented in graphics in the Figure 8 and pasting parameters are shown in Table 8.

**Figure 8** – RVA viscosity curves of oat flour samples



--Viscosity (cP) A; --Viscosity (cP) B; --Average; --Temperature (°C)

Pasting temperature of extruded samples were not considered because extrusion process already caused pasting phenomena, which surely affects the temperature for pasting in the pasting properties analysis. It can be shown in the graphics that viscosity at

beginning of cycles is up to the zero point. That is the reason 4 grams of sample was applied in the test and not only three. Not extruded oat flour (OF) also started the viscosity cycle slightly up to the zero point. That is because for producing whole oat flour oat grain is stabilized by steam after milling, which might have affected some starch granules (Webster and Wood, 2011).

In the composition of oat flours, the starch is the compound which contributes the most for raising viscosity of oat flour suspensions, the second most important is the  $\beta$ -glucan and the third is the protein (Urón, 2013). Starch granules have a low capacity of hydration in cold water. However, after being processed by heat treatment, starch is able to promote high viscosity solutions (Fennema *et al.*, 2010). The viscosity increased by water absorption is also a consequence of starch swelling granules, because of starch gelatinization. This gelatinization process destroys the organized granules structure, which was well discussed in the Chapter 4 in section titled “cellular structure determination”.

The OF curve is characteristic of whole oat flour, showing cold viscosity of 25 cP, pasting temperature of 56.5 °C (Table 8), 381.5 cP of breakdown and increasing viscosity in the cooling cycle. According to the OF graphic, viscosity increased fast during the heating cycle, reaching 1709.5 cP of peak viscosity. The breakdown (381.5 cP) can be considered a low value, which indicates good viscosity stability during heating and gearing procedures.

The increase of viscosity during cooling cycle is because of the associations of dispersion components. This phenomenon is an indication of retrogradation tendency. The starch chains are reorganized and another crystalline structure can be once again obtained (Thomas and Atwell, 1999). Although oat flour starch retrogradation is disturbed by lipids that might prevent binding chains (Galdeano *et al.*, 2009), retrogradation tendency could be observed in every samples' viscogram in this study.

The results suggest that extrusion and the NaHCO<sub>3</sub> have interfered in the pasting properties of oat flours. Every extruded samples (EOF, EOF0.3, EOF 0.5, EOF 1.0 and EOF5.0) showed higher cold viscosity than the not extruded oat flour (OF) (Figure 8 and Table 8). This increasing in viscosity values is because of the water absorption capacity, which is intensified in extruded samples. As consequence of pre-gelatinization, caused by extrusion process, extruded flours are able to swell, according to the discussion of water absorption index section, in Chapter 4. Cold viscosity increased with the increase of NaHCO<sub>3</sub>

concentration, possible because of the more effective starch gelatinization when NaHCO<sub>3</sub> is applied at extrusion.

The pre-gelatinization also caused a low viscosity peak when compared to the OF graphic. In the sample EOF's rapid viscoanalyser profile, a viscosity peak is observed during the heating cycle, which indicate that starch gelatinization during extrusion was not completed. The partial starch gelatinization suggests that starch granules that are still able to swell during the RVA analysis are available in this sample. However, when sodium bicarbonate is applied at the extrusion process, these viscosity peaks are not observed anymore, which suggests that starch degradation was quite severe and destructive when compared to the samples with no NaHCO<sub>3</sub>. Probably that is why in sample EOF1.0 and EOF5.0 graphics two peaks of viscosity can be observed during the heating cycle, which suggests that fractions and/or aggregates of starch granules with different heating and gearing resistance capacities were involved. The influence of extrusion heating process, decreasing the viscosity peak of corn flour was also reported by Alvim *et al.* (2002).

Retrogradation seems to be positively affected by sodium bicarbonate, probably because pH changes, which might affect the chain interactions, mainly in proteins and  $\beta$ glucans; and negatively affected by extrusion, which might have occurred due to chains' conformance changes.

**Table 8** – Pasting properties of oat flour samples

	Pasting temperature (°C)	Cold viscosity (cP)	Peak viscosity (cP)	Break down (cP)	Setback (cP)	Final Viscosity (cP)
<b>OF</b>	56.5	25.0 <sup>a</sup>	1709.5 <sup>c</sup>	381.5 <sup>b</sup>	1015.5 <sup>b</sup>	2829.5 <sup>d</sup>
<b>EOF</b>	-	106.0 <sup>ab</sup>	708.0 <sup>a</sup>	439.0 <sup>b</sup>	710.0 <sup>a</sup>	1114.0 <sup>a</sup>
<b>EOF 0.3</b>	-	172.0 <sup>bc</sup>	575.5 <sup>a</sup>	126.0 <sup>a</sup>	1361.5 <sup>c</sup>	1956.5 <sup>b</sup>
<b>EOF 0.5</b>	-	427.0 <sup>e</sup>	676.5 <sup>a</sup>	102.0 <sup>a</sup>	1561.0 <sup>cd</sup>	2252.5 <sup>bc</sup>
<b>EOF 1.0</b>	-	371.0 <sup>de</sup>	634.5 <sup>a</sup>	79.5 <sup>a</sup>	1669.0 <sup>d</sup>	2406.0 <sup>c</sup>
<b>EOF 5.0</b>	-	270.0 <sup>cd</sup>	999.5 <sup>b</sup>	381.5 <sup>b</sup>	2515.0 <sup>e</sup>	3135.0 <sup>d</sup>

a, b, c, d, e Different letters in the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ ) according to the Tukey's test

### 5.3.2 Sensorial Analysis

#### 5.3.2.1 Ranking by preference 1

Samples containing different proportions of sodium bicarbonate have been evaluated according to personal preferences by the 30 panelists. Each sample final performance is shown in Table 9.

**Table 9** – Results of the ranking test for the instant oat drinks containing different extruded oat powders

Samples	Total rank sum
EOF	58 <sup>a</sup>
EOF0.3	68 <sup>ab</sup>
EOF0.5	85 <sup>b</sup>
EOF1.0	89 <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> Different letters in the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ ) according to the Tukey's test.

The samples EOF 0.5 and EOF 1.0 were preferred when compared to the sample without sodium bicarbonate (EOF). Five people made negative comments about the low viscosity of samples with no sodium bicarbonate and with 0.3% of sodium bicarbonate added (EOF0.3). However, none of them said the viscosity of samples with 0.5 and 1.0% NaHCO<sub>3</sub> were not acceptable.

The cold viscosity results have shown some correlation to this first set of sensorial analysis. When different NaHCO<sub>3</sub> concentration extruded powders were used at the same quantity in the beverages, it was possible to observe a significant difference in the drinks' viscosity. In the analysis of paste viscosity, it was showed the cold viscosity of samples EOF and EOF0.3 were lower than those of EOF0.5 and EOF1.0. At the same time, in the previous article (Chapter 4), neither there were any differences between solids stability, expansion, porosity, water solubility index and water absorption index among the samples. In addition, sample EOF0.5 was the one with lowest sodium bicarbonate concentration that showed statistic difference when compared to sample with no sodium bicarbonate. It have also advantage over sample EOF1.0, concerning to the pH, which is lower (8.33), as shown in Chapter 4, Table 4. For these reasons sample EOF0.5 was selected as the best extruded oat powder and consequently this ingredient was the one used in the next sensorial analysis.

### 5.3.2.2 Ranking by preference 2

The results of the ranking test comparing oats drinks with different flavors are shown in Table 10.

**Table 10** –Results of the ranking test for the instant oat drinks of different flavors

Samples	Total Rank Sum
Strawberry	50 <sup>b</sup>
Vanilla	71 <sup>a</sup>
Chocolate	59 <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup> Different letters in the same column indicate significant difference ( $p \leq 0.05$ ) according to the Tukey's test.

Vanilla flavor was the most preferable oat drink, while the other two flavors did not show significant differences in the collaborators preference. Many authors have described a better acceptance by panelists when vanilla flavor is applied, considering that vanilla flavor usually is known as a sweetener intensifier (McAlpine *et al.*, 2003). Strawberry flavor was evaluated by three panelists as similar to medicines or children syrups, which were not desirable. Eight people wrote they felt funny texture in mouth; one of them described the sensation as oily. Texture of extruded oat flours diluted in water is different from those of non extruded flours. These differences seem to increase even more when sodium bicarbonate is added up to 0.5%. In the ranking of preference 1, panelists dislike the low viscosity of samples with no NaHCO<sub>3</sub> or with only 0.3% NaHCO<sub>3</sub>. Water in this second rank was reduced quantities in order to take the comments from the previous ranking under consideration. However, in the ranking of preference 2, eight people wrote they dislike the drink texture because it is quite sticky. The cohesive properties of oar starch, also associated to the  $\beta$ glucans, might be responsible for this texture evaluation results.

### 5.3.2.3 Hedonic scale \_ attributes evaluation, acceptance and purchase intention

Table 11 shows the mean scores attributed by panelist. All attributes were graduated between “neither like neither dislike” (grade 5), “slightly like” (grade 6) and “like” (grade 7). None of them was classified as a negative perspective. Texture, in accordance to 15 panelists that made negative comments about texture, was the weakest attribute in the sample. In addition to that, two people commented they felt residual taste in their month, which was not desirable. Flavor was the attribute collaborators liked the most, five of them also made a

positive comment about the vanilla flavor. Four people wrote they would have liked a more attractive color and none of them made positive comments about the product color or indicate which drink color they would appreciate better. Seven panelists would have liked the beverage to be sweeter than the way it was offered. However, six people made positive comments about beverage sweetness, which discourage authors from changing the recipe.

Standard deviation for all attributes were less than two points in the hedonic scale, which suggests that panelists did not show divergences in their perception towards the evaluated beverage.

Commercial attitudes toward product were acceptable. Fifty four point nine percent of panelists declare they would buy the oat drink, even though only one of them declared to have habits of drinking cereal beverages. According to Galdeano (2012) even if oat would not be considered a tasteful cereal, its consumption would be justified by its health benefits.

**Table 11** –Samples’ Attributes Evaluation

ATTRIBUTES	TOTAL EVALUATION GRADE	AVERAGE EVALUATION GRADE	STANDARD DEVIATION
Color	283	5.55	±1.45
Taste	283	5.55	±1.76
Texture	280	5.49	±1.84
Flavor	386	7.57	±1.10
Global Acceptance	310	6.08	±1.29
Commercial	23 ( 45.1%) panelists said they would not buy		
Viability	28 (54.9%) panelists said they would buy		

#### 5.4 CONCLUSION

This study about the rheological properties of extruded flours and sensorial acceptability of instant oat powder drink has helped to understand the influence of sodium bicarbonate in oat flour extrusion process and the potential consumers’ perceptions against different flavors and NaHCO<sub>3</sub> concentrations in these drinks. Sodium bicarbonate increased starch gelatinization during extrusion, which was demonstrated by RVA profiles of flours. Instant extruded oat flour containing 0.5% NaHCO<sub>3</sub> shows good evaluation and vanilla flavor is a preferable option for oat drinks. Results suggest that reactive extrusion with NaHCO<sub>3</sub> is a considerable way for producing oat drinks. Although samples with NaHCO<sub>3</sub> shown higher viscous in the RVA analysis, more should be studied about the consumers’ preference related to cereal drinks texture.

## CONCLUSÃO

O estudo proporcionou dados importantes inerentes à ação do bicarbonato de sódio em processo de extrusão de farinha de aveia integral, e também evidenciou alguns dados sobre as percepções sensoriais relativas à concentração de bicarbonato de sódio e diferentes aromas aplicados a bebida de aveia. Os resultados deste estudo permitem concluir que o índice de expansão dos extrusados e os valores de cor, atividade de água, pH, IAA, ISA, estabilidade dos sólidos em água e viscosidade das farinhas de aveia integral extrusadas são alterados com a adição de diferentes concentrações de  $\text{NaHCO}_3$ . Além disso, as propriedades reológicas demonstradas nas análises em RVA evidenciam um aumento do índice de gelatinização do amido da aveia quando o  $\text{NaHCO}_3$  é utilizado no processo de extrusão. Na avaliação sensorial, a concentração de 0,5% e também o sabor de baunilha mostraram-se os mais aceitáveis para os potenciais consumidores. De fato, o bicarbonato de sódio pode ser um importante ingrediente utilizado na extrusão reativa da farinha de aveia integral, a fim de melhorar atributos desejáveis a diferentes tipos de desenvolvimentos, inclusive a produção de bebidas instantâneas de aveia.

## REFERÊNCIAS

- ABNT -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13170: **Teste de Ordenação em Análise Sensorial de Alimentos e Bebidas**. São Paulo: ABNT, 1994. 7 p.
- ALTAN, A., Mc Carthy, K.L., Maskan, M. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology. **Journal of Science and Food Agriculture**, v. 88, p. 1648 – 1659, 2008.
- ALVIM I., Scarbieri V., Chang Y., Desenvolvimento de farinhas mistas extrusadas à base de farinha de milho, derivados de levedura e caseína. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, v. 22, p. 170-176, 2002.
- ANDERSON, R.A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., Griffin, L. Jr. Gelatinization of corn gritz by roll and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, v.14(1), p. 4-11, 1969.
- ANVISA, 2008. **Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos**, IX -Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas, Disponível em <[http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno\\_lista\\_alega.htm](http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno_lista_alega.htm)>. Acesso em 16 jul. 2012.
- AQUALAB Water Activity Meter, Operator's Manual for Series TE4, 4TEV, DUO, Version 8, 2008-2012. Disponível em <<http://aqualab.decagon.com.br/assets/Uploads/13484-08-AquaLab-4.pdf>>. Acesso em 23 mar. 2013.
- BATEY I.L. and CURTIN B.M., Effects on pasting viscosity of starch and flour from different operating conditions for the rapid visco analyser. **Cereal Chemistry**, v. 77(6), p. 754 – 760, 2000.
- BeMILLER, N. James, **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**, 2<sup>a</sup> Edição, St. Paul, Minnessota, EUA: AACC International, Inc., 2007.
- BERRIOS, J.D.J., Camara, M., Torija, M.E. e Alonso, M. Effect of extrusion cooking and sodium bicarbonate addition on the carbohydrate composition of black bean flours. **Journal of Food Process**, v. 26, p. 113–128, 2002.
- BERRIOS, J.B., Delilah, F.W, Whitehand, L., Pan, J., Sodium bicarbonate and the microstructure, expansion and color of extruded black beans, **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 28 p. 321–335, 2004.
- BETT-GARBER, K. L., Lea M.J., McClung M.A., Chen M., Correlation of sensory, cooking, physical and chemical properties of whole grain rice with diverse bran color. **Cereal Chemistry**, v.90 (6), p. 521-528, 2013.
- BM&F, Disponível em:  
<<http://www2.bmf.com.br/pages/portal/bmfbovespa/boletim1/BoletimOnline1.asp?caminho=&pagetype=pop&Acao=BUSCA&cboMercadoria=SFI>> Acesso em: 27 ago. 2013.

CALDWELL, F. E. The cereal grains. In: FAST, R.B. & FAUBION, **Breakfast Cereals and How They are Made**, 2<sup>a</sup> Edição, St. Paul, Minnesota, EUA: American Association of Cereal Chemists, Inc., 2005, p. 1-15.

CHARUNUCH, C., Boonyasirikool, P., Tiengpook, C., Using of Extrusion Process for Preparation of Instant Cereal Beverage Powders based on Corn and Soybean, **National Science**, v. 37, p. 72 – 83, 2003.

CHINNASWAMY, R. and HANNA, M.A., Effect of lipids on the properties of extruded products, **Journal of Food Science**, v. 53, p.1230 -1246, 1988.

DE FRANCISCO A., Anton, A.A., Patrícia, H.A.A.S., Alimentos Integrais e suas Implicações à Saúde: Evidências Científicas, **Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Ciência e Tecnologia de Cereais (CERES)**, 2006.

DELLA VALLE, G., Vergnes, B., Colonna, P., Patria, A., Relations between rheological properties of molten starches and their expansion behavior in extrusion, **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 277 – 296, 1997.

DESPAIN, David. Restarting Breakfast, **Food Technology**, v. 67, p. 69-82, 2013.

DESRUMAUX, A., Bouvier, J.M., Burri, J., Corn grits particle size and distribution: effects on the characteristics of expanded extrudates, **Journal of Food Science**, v.63(5), p.1–7, 1998.

DING, Q.B., Ainsworth, P., Tucker, G., Marson, H., The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, **Journal of Food Engineering**, v.66, p. 282 – 289, 2005.

DRZIKOVA, B., Donowski, G., Gebhardt, E., Habel, A. The composition of dietary fiber-rich extrudates from oat affects bile acid binding and fermentation in vitro. **Food Chemistry**, v. 90, p.181-192, 2005.

DURAND *et al.*, Patent application publication, Method and Equipment for the Continuous Production of Porous Powdered Product, Pub. n<sup>o</sup> **US 2010/0104718 A1**, Requerente: Clextal, 2010.

DURAND *et al.*, Patent Application Publication, Methods of Preparing a Powder Product, Patent n<sup>o</sup> **US 2008/0241337 A1**, Requerente: Clextal, 2008.

DUST, Eugene Albert, Patent Application Publication, Extrusion process for the production of baby cereal, Patent n<sup>o</sup> **EP1854367 A2**. Requerente: Kerry Group Services International Limited, 2007.

EMBRAPA, Curso de Processo de Extrusão de Alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal, Rio de Janeiro, 2012.

FARAJ A., Vasanthan T., Hoover R. The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. **Food Research International**, v. 37, p. 517 525, 2004.

FAOstat, 2012, Oat production. Disponível em: <<http://www.fao.org/statistics/en/>>, Acesso em 20 dez. 2013.

FENNEMA O. R., Damodaran S., Parkin K. L. **Química de Alimentos de Fennema**, 4ª Edição, Porto Alegre: Artmed, 2010.

FERRARI B., FINOCCHIARO, F., Stanca, A.M., GIANINETTI, A., Optimization of air classification for the production of b-glucan-enriched barley flours. **Journal of Cereal Science**, v. 50, 152–158, 2009.

FRAME N. D., **The Technology of Extrusion Cooking**, 1ª Edição, Londres: Blackie A&P, 1994.

GALDEANO M.C., Grossmann, M.V., Mali, S., Bello-Perez, L.A., Propriedades físico-químicas do amido de aveia da variedade brasileira IAC 7, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29(4), p. 905-910, 2009.

GALDEANO M.C., **Aveia, uma escolha saudável. EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro** (2012). Disponível em: <<http://www.ctaa.embrapa.br/upload/publicacao/art-217.pdf>>. Acesso em 06 mar. 2014.

GAVA, A.J., Da Silva, C.A.B., Frias, J.R.G., **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**, 1ª Edição, São Paulo: Editora Nobel, 2008.

GRIGELMO-MIGUEL, N., Carreras-Boladeras, E., Martin-Belloso, O. Influence of the addition of peach dietary fiber in composition, physical properties and acceptability of reduced-fat muffins. **Food Science and Technology International**, v. 7, p. 425-431, 2001.

GOLBITZ, P., SunOpta Grains and Foods. In: VI Congresso Brasileiro de Soja, 2012, Anais do evento, Cuiabá, Brasil.

GUTKOSKI, Luis Carlos, **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**, 1ª Edição, São Paulo: Editora Varela, 2000.

HOSENEY, R. C., Mason W. R., Lai C. S., Guetzlaff, J., Factors affecting the viscosity and structure of extrusion-cooked wheat starch. **Food extrusion science and thecnology**, p. 277 – 305, 1992.

IBGE, **Produção Agrícola Municipal** (2008). Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pamclo/2007/pamclo2007.pdf>> Acesso em 06 ago. 2012.

JACKSON K.D, Howie L.D., Alkinbami L.J., Trends in Allergic Conditions Among Children: United States, 1997–2011, U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Centers for Disease Control and Prevention, **National Center for Health Statistics**, v. 121, 2013.

KIM, J.H., Tanhehco, E.J., Ng, P.K.W., Effects of extrusion conditions on resistant starch formation from pasty wheat flour. **Food Chemistry**, v.99, p. 718 – 723, 2006.

LABELL F., Oats: staple grain. **Food Processing**, v. 53, p. 114 – 120, 1992.

LAI C. S., Guetzlaff J., Hosney R. C., Role of Sodium Bicarbonate and Trapped Air Extrusion. **Cereal Chemistry**, v. 66(2), p. 69-79, 1989.

LAJOIE M.S., Goldstein P.K., Geeding-Schild D., Use of bicarbonates in extrusion processing of ready-to-eat cereals. **Cereal Food World**, v. 41, p. 448–451, 1996.

LIU Y., Bailey T. B., White P. J., Individual and interactional effects of  $\beta$ -glucan, starch and protein on pasting properties of oat flours, **Dissertação Mestrado Department of Food Science and Human Nutrition, Iowa State University**, EUA, 2010.

MERCIER C., Linko P., Harper J. M., **Extrusion Cooking**. 1<sup>a</sup> Edição. St.Paul, Minnesota, EUA: American Association of Cereal Chemists, 1989.

McALPINE S.J., Harper J., McMurdo M.E.T, Bolton-Smith C., Hetherington, M.M., Nutritional supplementation in older adults: Pleasantness, preference and selection of sip-feeds, **British Journal of Health Psychology**, v. 8, (1), p. 57-66, 2003.

MCKEOWN N.M., Meigs J.B., Liu S., Wilson P.W.F., Jacques P.F., Whole grain intake is favorably associated with metabolic risk factors for type 2 diabetes and cardiovascular disease in Framingham Offspring Study. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, p. 390-398, 2002.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005. **Biblioteca virtual em saúde**. Disponível em: <<http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/dicas/88lactose.html>>. Acesso em 06 ago. 2012.

MORARU C.I. and KOKINI J.L., Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, p. 147-165, 2003.

PARSONS M.H., Hsieh F., Huff H.E., Extrusion cooking cornmeal with sodium bicarbonate and sodium aluminum phosphate. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, p. 221 – 234, 1996.

Q-B. DING, Ainsworth P., Tucker G., Marson H., The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 283–289, 2005.

ROBIN F., Engmann J., Pineau N., Chanvrier H., Bovet N., Della Vale G., Extrusion, structure and mechanical properties of complex starchy foams, **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 19-27, 2010.

ROSE, D.J., Swelley J.C., Pike O., Maldonado-Dobrado A.F., Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage, **Journal of Cereal Science**, v. 56, p. 119 – 126, 2012.

RYU G.H., Neumann P. E., Walker C.E., Effects of some baking ingredients on physical and structural properties of wheat flour extrudates, **Cereal Chemistry**, v. 70, p. 291 – 297, 1993.

SINGH N., Sharma S., Singh B. 2000. The effect of sodium bicarbonate and glycerol monostearate addition on the extrusion behaviour of maize grits. **Journal of Food Engineering**, v. 46(1), p. 61-6, 2000.

STAHLER C., How Many Adults are vegetarian? The Vegetarian Resource Group Asked in a 2006 National Pool, FDA, **Vegetarian Journal**, v. 4, 2006.

OVANDO-MARTÍNEZ M., Whitney K., Reuhs B. L., Doehlert D.C., Simsek S., Effect of hydrothermal treatment on physicochemical and digestibility properties of oat starch, **Food Research International**, v. 52, p.17-25, 2013.

THOMAS D.J. and ATWELL W.A., **Starches: practical guides for the food industry**. 1<sup>a</sup> Edição. Minnesota: Eagan Press, 1999, 94p.

**The Center for Nutrition Policy and Promotion**, Disponível em:

<[www.choosemyplate.gov](http://www.choosemyplate.gov)> , Acesso em 25 set. 2012.

WEBSTER, F. H. and WOOD, P. J. **Oats, Chemistry and Technology**, 2<sup>a</sup> Edição, St. Paul, Minnesota, EUA: AACC International Press, 2011.

WHALEN P.J., Bason M.L., Booth R.I., Walker C.E., Williams P.J., Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser, **Cereal Food World**, v. 42, p. 469 – 475, 1997.

WOLK T., On-line color management systems. **Cereal Food World**, v. 44, p. 21-29, 1999.

URÓN, Judith Paola, Avaliação das propriedades viscográficas da farinha de aveia IAC7 submetida a diferentes condições de extrusão e tratamento enzimático. Dissertação de mestrado, Orientadora Dra. Alícia de Francisco, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2013.

YOA N., Jean – Luc J., Sajid A., Pamela W.P., Physical and Sensory Characteristics of Extruded Products Made from Two Oat Lines with Different  $\beta$ -Glucan Concentrations, **Cereal Chemistry**, v.83, p. 692-699, 2006.

ZAMMER C.M. and KAY S.V., The changing landscape of grain-based foods: creating opportunity from adversity. **Cereal Foods World**, v. 58, p. 307-308, 2013.

ZHANG, M.; BAI, X.; ZHANG, Z., **Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran**, Journal of Cereal Science, v. 54, p. 98 – 203, 2011.

**ANEXOS**

## ANEXO A

## Aceite do Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina



**COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS**  
 Universidade Estadual de Londrina  
 Registro CONEP 5231

<b>Parecer CEP/UEL:</b>	171/2012
<b>CAAE:</b>	09063812.7.0000.5231
<b>Processo:</b>	24824/2012
<b>Pesquisador(a):</b>	Maria Victoria Grossmann
<b>Unidade/Órgão:</b>	CCA - Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos

Prezado(a) Senhor(a):

O "Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina" (Registro CONEP 5231) – de acordo com as orientações da Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde/MS e Resoluções Complementares, avaliou o projeto:

**"Desenvolvimento de misturas instantâneas de aveia para elaboração de bebidas"**

Situação do Projeto: **Aprovado**

Informamos que deverá ser comunicada, por escrito, qualquer modificação que ocorra no desenvolvimento da pesquisa, bem como deverá ser encaminhado ao CEP/UEL relatório final da pesquisa, conforme prevê a Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde/MS e Resoluções Complementares.

Londrina, 22 de outubro de 2012.

**Profa. Dra. Alexandrina Aparecida Maciel Cardelli**  
 Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos  
 Universidade Estadual de Londrina



## ANEXO B

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido na forma de convite para a análise sensorial e de aceitação de bebidas de cereal

**Termo de Consentimento Livre e Esclarecido****Título da pesquisa:**

**“Desenvolvimento de misturas em pó instantâneas de aveia para a elaboração de bebidas.”**

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) a participar da pesquisa **“Desenvolvimento de misturas instantâneas de aveia para a elaboração de bebidas”**, realizada no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Centro de Ciências Agrárias da UEL, Londrina-PR.

O objetivo da pesquisa é desenvolver um pó para a elaboração de bebidas de aveia com alto valor nutritivo e que seja alternativa para consumidores intolerantes a lactose e/ou alérgicos a proteínas da soja.

A sua participação é muito importante e irá requerer cerca de 15 minutos em cada sessão, podendo ocorrer mais de uma sessão. Você participará como provador e irá consumir, no máximo, em cada sessão, quatro porções de bebida de aveia, cada uma delas com 25 mL. Após a degustação, a sua opinião sobre as características do produto (cor, sabor, textura e aroma) ou sua ordem de preferência de todas as opções apresentadas será solicitada por meio de uma ficha individual, onde deve ser informando o quanto você gostou de cada atributo ou sua ordenação das amostras apresentadas conforme sua preferência por avaliação global das amostras. Você poderá participar no horário em que tiver maior disponibilidade.

Haverá também um teste sensorial descritivo do produto, comparando-o com uma amostra de produto do mesmo conceito adquirida no comércio local. Caso seu perfil de percepção sensorial e hábitos de consumo seja adequado para avaliação do produto, você poderá ser recrutado para participação voluntária de um treinamento, onde serão abordadas particularidades do produto e do método de avaliação. Este treinamento terá duração de, no máximo, duas horas.

Gostaríamos de esclarecer que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo a sua pessoa. Informamos, ainda, que as informações serão

utilizadas somente para os fins desta pesquisa e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade.

A ingestão do produto não traz riscos à saúde, entretanto, raramente, podem ocorrer desconfortos abdominais, como: dores, flatulência ou trânsito intestinal aumentado, que deverão cessar algumas horas após o consumo do produto. Informamos que você não pagará nem será remunerado por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação na pesquisa.

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos, não éxite em nos contatar (Profa. Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann, DCTA-UEL telefones (43) 3371-5965 ou e-mail victoria@uel.br e Leniza Ludwig, (43) 9122-4945, leniza@slalimentos.com.br) ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, na Avenida Robert Kock, nº 60, ou no telefone 3371-2490. Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas, devidamente preenchida e assinada entregue a você.

Londrina, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2013

**Pesquisador Responsável**

Profa. Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann

**Mestranda**

Leniza Januário Ludwig

<p>_____ (nome por extenso do sujeito de pesquisa), tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar <b>voluntariamente</b> da pesquisa descrita acima.</p> <p style="text-align: right;">Assinatura: _____ Data: _____</p>
--

## ANEXO C

## Modelo de questionário para recrutamento de provadores

Desejamos formar uma equipe de provadores para avaliar a qualidade sensorial de bebidas de cereal formuladas a partir de uma base instantânea de aveia. Ser um provador não exigirá de você nenhuma habilidade excepcional, não tomará muito de seu tempo e não envolverá nenhuma tarefa muito difícil. O teste será realizado no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, leva em torno de 15 minutos e você poderá fazê-la no horário que tiver maior disponibilidade. Se tiver qualquer dúvida ou necessitar de informações adicionais entre em contato (Leniza, (43) 9122-4945 ou Profa. Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann (43) 3371-5965).

## DADOS PESSOAIS

Nome: \_\_\_\_\_

Telefone para contato / e-mail: \_\_\_\_\_

## 1. Faixa Etária

- 15-25  
 25-35  
 35-50  
 acima de 50 anos

## 2. Sexo

- Masculino  
 Feminino

## 3. Ocupação

- Aluno  
 Funcionário  
 Professor  
 Outro \_\_\_\_\_

## 4. Escolaridade

- 1º grau  
 2º grau  
 3º grau  
 Outro

## 5. Já provou alguma bebida que tenha como ingrediente um cereal

- Sim  
 Não

## 6. Gosta de bebidas de cereal

- Sim  
 Não  
 Nunca provou

## 7. Frequência de consumo

## Bebidas de cereais:

- Nunca  
 Ocasionalmente - \_\_\_\_\_ vezes por ano  
 Moderadamente - \_\_\_\_\_ vezes por mês  
 Frequentemente - \_\_\_\_\_ vezes por semana

## Alimentos com alegações funcionais:

- Nunca  
 Ocasionalmente - \_\_\_\_\_ vezes por ano  
 Moderadamente - \_\_\_\_\_ vezes por mês  
 Frequentemente - \_\_\_\_\_ vezes por semana

## Produtos em pós instantâneos:

- Nunca  
 Ocasionalmente - \_\_\_\_\_ vezes por ano  
 Moderadamente - \_\_\_\_\_ vezes por mês  
 Frequentemente - \_\_\_\_\_ vezes por semana

## Produtos que costuma consumir

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## ANEXO D

Modelo de ficha para o teste de ordenação das amostras conforme ordem de preferência global

**TESTE DE ORDENAÇÃO**

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Você está recebendo quatro amostras de bebidas de cereal (aveia). Por favor, avalie cada uma das amostras quanto a sua apresentação global e, da esquerda para a direita, ordene-as em ordem crescente de acordo com sua preferência.

\_\_\_\_\_

Gostei -

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Gostei +

Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ANEXO E

Modelo de ficha para o teste de ordenação das amostras conforme ordem de preferência global

**TESTE DE ORDENAÇÃO**

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Você está recebendo três amostras de bebidas de cereal (aveia). Por favor, avalie cada uma das amostras quanto a sua apresentação global e, da esquerda para a direita, ordene-as em ordem crescente de acordo com sua preferência.

\_\_\_\_\_

Gostei -

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Gostei +

Comentários: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ANEXO F

Modelo de ficha para o teste de aceitação dos atributos sensoriais estruturados em escala hedônica

**TESTE DE ESCALA HEDÔNICA**

Nome: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Você está recebendo três amostras de bebidas de cereal. Por favor, avalie as amostras com relação aos atributos cor, sabor, textura, aroma, aparência e aceitação global, utilizando a escala abaixo para dizer o quanto gostou ou desgostou do produto e, se desejado, faça comentários sobre ele.

- ( 1 ) Desgostei muitíssimo
- ( 2 ) Desgostei muito
- ( 3 ) Desgostei
- ( 4 ) Desgostei ligeiramente
- ( 5 ) Não gostei, nem desgostei
- ( 6 ) Gostei ligeiramente
- ( 7 ) Gostei
- ( 8 ) Gostei muito
- ( 9 ) Gostei muitíssimo

AMOSTRA	COR	SABOR	TEXTURA	AROMA	ACEITAÇÃO GLOBAL

Você compraria esse produto?    (   ) sim    (   ) não

Comentários:

---



---



---

## ANEXO G

Página de acesso do *Curriculum lattes* dos pesquisadores envolvidos na pesquisa

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Victoria Eiras Grossmann

Endereço de acesso do CV: <http://lattes.cnpq.br/3149224995606934>

Orientada em nível de Mestrado: Leniza Januário Ludwig

Endereço de acesso: <http://lattes.cnpq.br/0894043033454229>