INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO

Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Campus Rio de Janeiro

Mariana da Costa Mattos

ELABORAÇÃO DE UMA BARRA DE CEREAL COM INGREDIENTES PREBIÓTICOS E ISENTA DE GLÚTEN

Rio de Janeiro, 2015.

Mariana da Costa Mattos

ELABORAÇÃO DE UMA BARRA DE CEREAL COM INGREDIENTES PREBIÓTICOS E ISENTA DE GLÚTEN

Dissertação de Mestrado apresentada como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

Orientadora: Prof. Dra. Luciana Cardoso Nogueira

Co-orientadora: Dra. Melicia Cintia Galdeano

Rio de Janeiro-RJ

2015

M435 Mattos, Mariana da Costa.
Elaboração de uma barra de cereal com ingredientes prebióticos e isenta de glúten / Mariana da Costa Mattos. – Rio de Janeiro, 2015.
71 f.: 21 cm.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2015.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Cardoso Nogueira
Co-orientadora: Dra. Melicia Cintia Galdeano

1. Alimentos sem glúten – cereais. I. Nogueira, Luciana Cardoso. II. Título.

IFRJ/CMAR/CoBib CDU 633.1

Mariana da Costa Mattos

ELABORAÇÃO DE UMA BARRA DE CEREAL COM INGREDIENTES PREBIÓTICOS E ISENTA DE GLÚTEN

Trabalho de Dissertação de Mestrado apresentado como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Data de aprovação: 26/08/2015

Profa. Dra. Luciana Cardoso Nogueira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Melicia Cintia Galdeano
Embrapa Agroindústria de Alimentos
(Co-orientação)

Profa. Dra. Maria Ivone Martins Jacinto Barbosa
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
(Membro)

Prof. Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho
Embrapa Agroindústria de Alimentos

(Membro)

Rio de Janeiro - RJ
2015

DEDICATÓRIA

À minha querida filha Julia, com muito carinho e gratidão por todos os momentos de parceria, pelos sorrisos, mesmo nos momentos de desconforto, pela mãozinha amiga que sempre me foi estendida, independente do caminho. Pelo amor, paciência, compreensão, cumplicidade, respeito e entrega.

Ao meu marido, companheiro, melhor amigo, Altair, pela companhia constante, pela cumplicidade sempre presente.

À minha filha Joana que viveu esta jornada ainda dentro da barriga.

Com muito amor, à minha família dedico.

AGRADECIMENTOS

Gratidão à vida, ao Universo, a Deus e a tudo em que acredito, com a certeza plena de que tudo conspirou positivamente para que eu pudesse chegar até aqui.

Gratidão à família e aos amigos, pelo apoio, compreensão, respeito.

Aos pesquisadores Valéria Queiroz e Carlos Piler, por terem me recebido, me permitindo participar deste projeto.

À professora Luciana Cardoso Nogueira por todos os ensinamentos e conhecimentos partilhados.

À Dra. Melicia Cintia Galdeano por todo conhecimento e experiência ensinada.

Aos colegas de trabalho Adriana Paula da Silva Minguita, Francisco Carlos de Oliveira, Neuri dos Santos Menezes, pela companhia e auxílio diários.

Aos colegas da Embrapa Agroindústria de Alimentos que colaboraram direta ou indiretamente neste trabalho: Andressa Moreira, Edna Oliveira, Tatiane Oliveira, Claudia Brauns, Rosires Deliza, Caroline Mellinger, Ana Irayde, Tania dos Santos Silva, Flávia Gomes, Tatiana Azevedo, Davy Chavez, Jhony Solórzano.

Aos meus amigos Juan Ortiz e Gaspar Ramos por toda paciência que tiveram me ensinando a "pilotar" a extrusora quando cheguei à Embrapa.

Em especial, agradeço a minha querida "Me", por todo apoio, companheirismo, respeito, ensinamentos, por partilhar comigo momentos de grande aprendizado.

Agradeço, então.

"Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que a tornou especial."

Antoine de Saint-Exupéry

Mattos, M. C. Elaboração de uma barra de cereal com ingredientes prebióticos e isenta de glúten. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Rio de Janeiro, RJ, 2015

Há uma grande demanda por produtos de conveniência que ofereçam características sensoriais agradáveis e alto valor nutricional, para atender boa parte da população e, em especial o grupo de pessoas celíacas. O mercado de alimentos sem glúten ainda é deficiente quanto à oferta de produtos nutricionalmente ricos e sensorialmente atrativos. O objetivo do trabalho foi produzir extrusados de sorgo para elaboração de barras de cereais e avaliar o efeito da extrusão termoplástica sobre a atividade antioxidante deste cereal, identificar a melhor formulação de calda aglutinante, substituindo parcial e/ou totalmente o xarope de glicose e a sacarose, determinar a composição nutricional da barra com formulação otimizada e avaliá-la quanto a aceitação sensorial global e intenção de compra. Foram realizadas análises para caracterização das matéria primas (sorgo, linhaça, quinoa e amaranto), atividade antioxidante do sorgo cru e extrusado e análise de glúten por PCR em tempo real no sorgo cru. A formulação das barras de cereais foi estudada a partir de um delineamento experimental e as barras produzidas foram analisadas quanto a textura instrumental (resistência à flexão e ao corte) e atividade de água, assim como a formulação controle (sorgo, linhaça, quinoa, amaranto, xarope de glicose, açúcar e água) e uma barra comercial usada para fins de comparação. A otimização (desejabilidade) da formulação foi feita com base nos resultados apresentados pela barra de cereal comercial. A avaliação dos marcadores moleculares confirmou a ausência de glúten neste cereal e a avaliação da atividade antioxidante indicou manutenção de 71% após o processamento por extrusão. A composição nutricional das matérias primas foram semelhantes aos valores reportados na literatura. As formulações estudadas resultaram em barras de cereais de boa aparência e coesão e aspecto homogêneo. A resistência das barras à flexão foi influenciada diretamente pelo sorbitol, enquanto que a resistência ao corte foi influenciada de forma inversa pelo sorbitol e pelo sorgo. A atividade de água foi influenciada inversamente pelo sorgo e diretamente pelo sorbitol. A otimização do experimento indicou uma formulação com proporção 30:70 entre sorgo e demais grãos, 60,5% de substituição de xarope de glicose por inulina e 49% de substituição de sacarose por sorbitol. A barra obtida com esta formulação apresentou alto teor de fibras e o teste de aceitação global indicou um índice de aceitação de 54%.

Mattos, M. C. Development of a gluten free cereal bar with prebiotic ingredients.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Rio de Janeiro, RJ, 2015

There is a big demand about fast food products whose offers attractive sensorial features and high nutritional value, in order to attend part of the population, in special celiac people. This work aims to extruded sorghum to produce cereal bars e evaluate the extrusion effect in this cereal antioxidant activity, identify the best adhesive syrup recipe, replacing partial and/or totally the glucose syrup and sugar, determiner the bar nutritional composition and evaluate the sensorial acceptance and purchase intent. The raw material (sorghum, flaxseed, quinoa and amaranth) analyzes was carried out to characterization, raw and extruded sorghum antioxidant activity and gluten determination on real time PCR. The cereal bars recipe was studied by an experimental design and produced bars, control recipe and commercial sample was analyzed about instrumental texture (flexion and cut) and water activity. The recipe optimization (desirability) was carried out based on the commercial sample results. The genetic evaluation confirmed the gluten absence and the evaluation indicated 71% retention about antioxidant activity after extrusion process. The nutritional composition of raw material showed values similar to those of the literature. The studied recipes produced good and homogeneous appearance and cohesive cereal bars. The flexural strengthwas directly influenced by sorbitol, while the shear strength was inverselyinfluencedby sorbitol and sorghum. The water activity was inverselyinfluenced by sorghum and directly influenced by sorbitol. The experiment optimization indicated an recipe with 30:70 ratio between sorghum and the other grains, 60,5% replacement of glucose syrup by inulin and 49% replacement of sugar by sorbitol. The cereal bar produced with this recipe presents high fiber content and the global acceptance results in 54% acceptance rate.

SUMÁRIO

1.	**INTRODUÇÃO**	11
2.	**REVISÃO DA LITERATURA**	13
2.1.	Doença celíaca	13
2.2.	O sorgo	16
2.2.1.	Composição e classificação do sorgo	17
2.2.2.	Hibirido de sorgo – BRS 310	18
2.3.	Linhaça, quinoa e amaranto	19
2.3.1.	Linhaça (*Linum usitatissinum* L.)	19
2.3.2.	Quinoa e amaranto	21
2.4.	Inulina	23
2.4.1.	Propriedades tecnológicas da inulina	24
2.4.2.	Inulina como ingrediente prebiótico	24
2.5.	Extrusão termoplástica	25
3.	**JUSTIFICATIVA**	27
4.	**OBJETIVO**	28
4.1	Objetivo geral	28
4.2.	Objetivos específicos	28
5.	**MATERIAIS E MÉTODOS**	29
5.1.	Matérias primas	29
5.1.1.	Grãos de sorgo	29
5.1.2.	Demais grãos e ingredientes	29
5.2.	Métodos	29
5.2.1.	Obtenção da farinha crua de sorgo integral	29
5.2.2.	Determinação de glúten na matéria prima (sorgo)	29
5.2.1.1.	Extração do DNA genômico	30
5.2.1.2.	PCR em tempo real SYBRGREEN	30
5.2.3.	Determinação do tamanho de partícula	30
5.2.4.	Determinação do teor de taninos na matéria prima	30
5.2.5.	Composição nutricional	31
5.2.6.	Determinação da atividade antioxidante frente ao radical ABTS	32
5.2.7.	Avaliação da digestibilidade de proteínas	32
5.2.7.1	Simulação da digestão *in vitro*	32
5.2.7.2.	Caracterização do perfil de proteínas por eletroforese gel SDS/PAGE	33
5.3.	Produção e caracterização dos extrusados de sorgo	33
5.3.1.	Produção dos extrusados de sorgo (*crispies*)	33

5.3.2. Índice de expansão radial 33
5.4. Produção das barras de cereais 34
5.4.1. Tratamento térmico das sementes de linhaça 34
5.4.2. Produção de quinoa expandida (*puffed*) 34
5.4.3. Formulação das barras de cereais e delineamento experimental 34
5.4.4. Preparo da calda de aglutinação (ou calda ligante) 36
5.5. Caracterização das barras de cereais 38
5.5.1. Determinação da textura instrumental 38
5.5.2. Determinação da atividade de água 38
5.5.3. Análise estatística 39
5.5.3.1. Análise de variância 39
5.5.3.2. Otimização do experimento (função desejabilidade) 39
5.5.4. Composição nutricional da barra de cereal 40
5.5.5. Determinação da atividade antioxidante na barra de cereal 40
5.5.6. Disgestibilidade de proteínas na barra de cereal 40
5.5.7. Análise sensorial 40
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 42
6.1. Tamanho de partícula 42
6.2. Determinação de glúten 43
6.3. Quantificação de taninos 44
6.4. Composição nutricional 44
6.5. Atividade antioxidante 45
6.6. Caracterização dos extrusados de sorgo 46
6.7. Barras de cereais 47
6.8. Textura instrumental e atividade de água 49
6.8.1. Textura instrumental 49
6.8.1.1. Firmeza 1 – resistência à flexão 52
6.8.1.2. Firmeza 2 – resistência ao corte 53
6.8.2. Atividade de água 55
6.9. Otimização do experimento – função desejabilidade 57
6.10. Composição nutricional 58
6.11. Atividade antioxidante da barra de cereal 59
6.12. Digestibilidade de proteínas 60
6.12. Análise sensorial 61
7. CONCLUSÕES 62
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61
ANEXO 69

1. INTRODUÇÃO

A mudança dos hábitos alimentares alterou a rotina diária de boa parte da população e provocou uma crescente demanda por produtos de conveniência prontos para consumo (CAPRILES, 2009). A grande quantidade de informações disponíveis sobre os alimentos e seus benefícios e a exigência dos consumidores começou a alterar o panorama do consumo de alimentos e a aumentar a valorização dos atributos de saudabilidade (RODRIGUES, 2013). Devido ao conhecimento cada vez maior a respeito dos conceitos de uma alimentação saudável, há um aumento na demanda por produtos com características sensoriais agradáveis, alto valor nutricional e propriedades benéficas aliados à praticidade de produtos de conveniência, isto é, prontos para o consumo. Neste sentido, as barras de cereais são um dos produtos que podem atender parte desta demanda e têm se tornado destaque entre grupos que buscam aliar os conceitos de dieta/saúde a um estilo de vida saudável, pois segundo Pezzino et al., (2010), este é o motivo para que a categoria "barra de cereais" cresça em média 20% ao ano.

Além da busca por opções saudáveis de alimentos, encontra-se o grupo de pessoas que apresentam intolerância ao glúten, os celíacos. A doença celíaca é uma patologia autoimune, desencadeada pela presença do glúten (formado pelos aminoácidos glutamina e prolina) presente em alimentos como trigo, cevada, centeio entre outros. Os portadores desta síndrome têm sua mucosa intestinal lesada, o que interfere diretamente na absorção de certos nutrientes, além de apresentar sintomas como diarréias fortes, podendo levar ao câncer no cólon. O tratamento consiste única e exclusivamente em uma dieta rigorosa com a exclusão dos alimentos que contenham glúten (KUPPER, 2005).

O mercado de alimentos sem glúten ainda é deficiente quando se leva em consideração que devem ser saudáveis e sensorialmente atrativos, pois a maioria destes produtos é feita principalmente à base de amido, o que os tornam pobres em nutrientes importantes para a saúde (informação verbal) [1*]. Neste contexto, as barras de cereais podem ser uma opção de atendimento ao mercado de alimentos *gluten-free*por ser uma matriz capaz de reunir uma gama de ingredientes saudáveis, dos quais o sorgo pode ser uma boa opção.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um grão nativo da África Central, livre de gliadina, proteína responsável pela reação alérgica em celíacos (MESA-STONESTREET *et al.*,, 2012), apresenta um valor nutricional semelhante ao milho e ainda é fonte de minerais como fósforo, potássio, ferro e zinco (DICKO *et al.*,, 2006). Atualmente é parte da dieta de

[*] Informação da Dra Melícia Cíntia Galdeano, pesquisadora da Embrapa Agroindústria de Alimentos (RJ).

vários países africanos e asiáticos, porém, no Brasil, ainda é usado em sua maior parte para alimentação animal. A Embrapa (Unidades Milho e Sorgo e Agroindústria de Alimentos) desenvolveu linhas de pesquisa para identificar genótipos adequados à alimentação humana nas décadas de 80 e 90 e atualmente vem trabalhando para estimular o consumo com o desenvolvimento de novos produtos à base deste cereal (QUEIROZ *et al.,* 2009). Devido à presença de taninos, os grãos de sorgo precisam de tratamentos (térmicos e/ou químicos) para minimizar os efeitos negativos que estes compostos apresentam. Porém, no caso de tratamento térmico, o calor pode interferir também redução dos compostos bioativos presentes nos grãos. Neste caso, é importante o uso de tratamentos rápidos, onde o processamento por extrusão é uma opção.

Seguindo a tendência de saudabilidade e bem-estar, alguns grãos e sementes ganharam destaque na alimentação humana, por serem ricos em nutrientes, fontes de compostos bioativos e apresentarem propriedades funcionais. Destes, podemos destacar os pseudocereais quinoa (*Chenopodium quinoa W.*) e amaranto (*Amaranthus caudatus L.)*e a semente de linhaça (*Linum usitatissimum*). Tanto a quinoa quanto o amaranto são consideradas os principais cultivos das culturas pré-colombianas na América Latina. Segundo Farinazzi-Machado (2012), a quinoa apresenta alto valor biológico, carboidratos de baixo índice glicêmico, fitosteróis e ácidos graxos ômega-3 e ômega-6. Além disso, também correlaciona o consumo destes grãos à redução de fatores de risco de doenças cardiovasculares. O amaranto, segundo Mendonça (2009), devido à sua composição proteica, está relacionado à redução do colesterol. E, a semente de linhaça, conforme Strandas (2008), também apresenta propriedades funcionais, relacionadas à proteção contra doenças cardiovasculares, câncer e diabetes mellitus.

Outra alternativa para tornar um produto "mais saudável" é a substituição de alguns ingredientes tradicionalmente usados na formulação,como o açúcar, por outros que apresentem poder edulcorante e menores efeitos negativos no organismo, como, por exemplo, o sorbitol.A inclusão de fibras alimentares na formulação também é uma realidade que vem sendo fortemente observada e, neste contexto, a inulina merece destaque. No caso do sorbitol, além de reduzir o valor calórico do produto, também atua auxiliandoa redução do risco do aparecimento de Diabetes Mellitus, que acomete boa parte da população. No caso das fibras, os efeitos benéficos associados ao seu consumo regular já vem sendo mostrados e incluem a melhora no trânsito intestinal e estimulação seletiva da microbiota intestinal. Para isto, uma alternativa seria a inclusão de inulina na formulação dos produtos de conveniência de grande aceitação, neste caso as barras de cereais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Doença celíaca

A doença celíaca, também conhecida como *sprue* e/ou enteropatia sensível ao glúten, é uma patologia autoimune (LEE e NEWMAN, 2003), caracterizada pela lesão da mucosa do intestino delgado, resultando em dificuldade de absorção de nutrientes (KAGNOFF, 2005).Surge como conseqüência da ação de determinados fatores ambientas (MATOS, 2010) e acomete indivíduos geneticamente susceptíveis, desenvolvendo intolerância ao consumo de glúten.O glúten é uma proteína presente em certos grãos, que contêm uma seqüência específica de peptídeos. Tais peptídeos ocorrem na fração prolamina e são denominados: gliadina (trigo), hordeína (cevada) e secalina (centeio) (LEE e NEWMAN, 2003).

Tal doença envolve a susceptibilidade genética à exposição e resposta imune que causa inflamação na mucosa intestinal (principalmente no intestino delgado), resultando em atrofiamento das vilosidades, conforme apresentado na Figura 1.

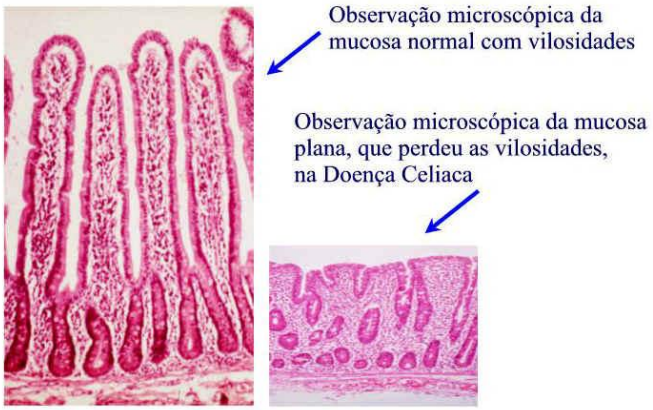


Figura 1. Micrografia comparativa entre tecido epitelial intestinal sadio e com doença celíaca.
Fonte: http://www.rqueiroznutri.com.br/dica/doenca-celiaca

Durante algum tempo, a doença celíacafoi considerada um distúrbio de absorção na infância.Atualmente é reconhecida como um distúrbio que pode afetar vários órgãos e ser diagnosticado em qualquer idade (MATOS, 2010), porém na maioria dos casos o diagnóstico ocorre entre os 9e 24 meses de vida, no momento em que o glúten é inserido na dieta (CAPRILES, 2009).

Os determinantes genéticos mais importantes são os genes HLA-DQ2 e o gene HLA-DQ8 (KAGNOF, 2005), sendo que 30-40% da população são portadores destes marcadores genéticos (MATOS, 2010), havendo maior incidência entre a população caucasiana. De acordo com Dewar *et al.,* (2004), a lesão é caracterizada por um achatamento na mucosa do intestino

delgado, com infiltração de linfócitos, aumento da proliferação das células epiteliais com hiperplasia (epitélio das criptas ou de Lieberkuhn) e diferenciação reduzida dos enterócitos[2], o que leva à má absorção dos nutrientes. Na Figura 2, está apresentada uma ilustração do mecanismo de ação das proteínas gliadina e glutelina no organismo sensível (celíaco).

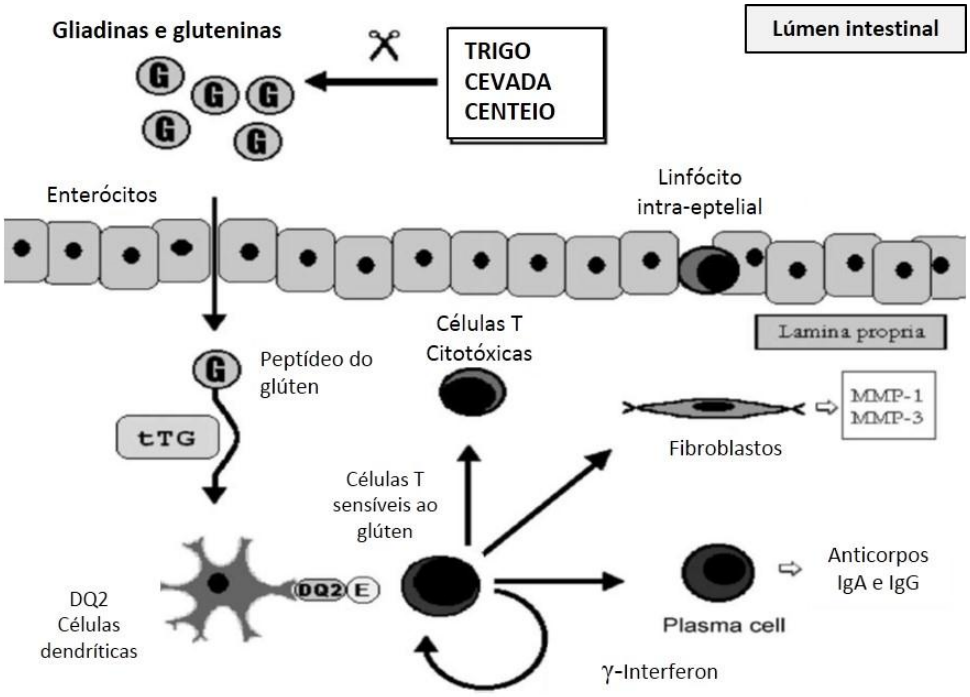


Figura 2. Mecanismo de desenvolvimento/patogenia da doença celíaca
Fonte: DEWAR, PEREIRA e CICLITIRA (2004).

Por conta da má absorção dos nutrientes, podem ser observadas outras complicações na saúde como diminuição dos níveis séricos de cálcio, levando à osteoporose, hipovitaminose D, diminuição na densidade mineral óssea, aumento do risco de fraturas, esteatorréia[3], e, em casos mais graves, o desenvolvimento de câncer do cólon.

> As vilosidades saudáveis são responsáveis pela digestão e absorção dos nutrientesdos alimentos, como o cálcio, o cobre, o zinco, o magnésio, o boro, a vitamina D, o silício e outros nutrientes envolvidos na manutenção da massa óssea. A inflamação da mucosa do intestino delgado em pacientes celíacos não tratados causa a má absorção dos nutrientes, ou seja, dos minerais, vitaminas e antioxidantes, incluindo os nutrientes essenciaispara a manutenção da massa óssea (LOBÃO, 2011).

[2] Enterócitos são células do tecido epitelial dos intestinos delgado e grosso, responsáveis pela absorção de nutrientes (transporte molecular). São as células de revestimento dos vilos e criptas.
[3] Esteatorréia é a diarréia devido ao excesso de gordura nas fezes. Tal distúrbio é provocado por doenças que levam à má absorção de nutrientes, ocasionando falhas no processo digestivo.

Matos (2010) acrescenta que os fatores ambientais que contribuem para o desencadeamento da doença celíaca são: a exposição precoce (antes dos quatro meses) das crianças ao glúten, gastroenterite por Rotavírus na infância e alterações na microbiota intestinal.

O tratamento consiste exclusivamente em uma dieta isenta de glúten, a fim de prevenir uma enteropatia crônica e reduzir o risco de linfoma[4] e carcinoma gastrointestinal (DERWAN, 2004).Porém a disponibilidade de alimentos *gluten-free* ainda esbarra reduzida variedade ofertada, na qualidade sensorial e, principalmente, na baixa qualidade nutricional. Thompson *et al.* (2005) estudaram o perfil nutricional da dieta de pacientes celíacos americanos e alertaram para a necessidade de atenção à ingestão diária de cálcio, ferro e fibras, principalmente nas mulheres.Além da questão nutricional, Lee e Newman (2003) citam o impacto social que a dieta restritiva causa e seus reflexos na qualidade de vida dos pacientes celíacos.

[4] Linfoma é um câncer originado nos linfonodos (gânglios).

2.2. O Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma gramínea pertencente à família Poaceae, nativa da África Central.

> É uma planta de clima quente, que apresenta características xerófilas e mecanismos de tolerância à seca, sua produtividade está relacionada com fatores integrados, tais como interceptação da radiação pelo dossel, eficiência metabólica, eficiência de translocação de produtos da fotossíntese para os grãos e capacidade de dreno. Todas estas características facilitam o cultivo frente às condições climáticas. (EMBRAPA, 2008[a]).

Por ser uma planta de fácil cultivo e adaptação climática, apresenta um custo de produção menor que o milho e é comercializado por um valor, aproximadamente, 20% menor (Embrapa, 2008b, Tsunechiro e Miura, 2011).

Os dados do levantamento da safra 2014-2015 indicam que a produção de sorgo no Brasil foi de 1.858 toneladas, correspondendo a 1,7% frente a safra do anoanterior (CONAB, 2015), porém toda a produção é destinada à alimentação animal. Naturalmente, seria uma cultura alternativa ao milho tanto no plantio quanto na alimentação, porém, por questões culturais por parte dos agentes do agronegócio, ainda são encontradas grandes dificuldades de inserção no mercado. É importante ressaltar, também, que, no Brasil, o plantio é feito para consumo no próprio estabelecimento, destinando-se ao consumo animal em sistemas integrados de produção ou com destino diretopara o mercado produtor de ração animal,ou seja, o sorgo produzido no Brasil é todo consumido na alimentação animal (EMBRAPA, 2008b).

O consumo do sorgo na alimentação humana está amplamente difundido pelos continentes africano e asiático, onde chega a representar 70% da ingestão calórica diária (DICKO*et al*., 2006), sendo usado em diversos tipos de preparações, incluindo mingaus, farinhas e bebidas. Nos demais países, normalmente é destinado à alimentação animal, principalmente na elaboração de rações. Vazquéz-Araújo *et al.* (2012) acreditam que, aqui no Brasil, o sorgo ainda não é consumido por motivos culturais e sensoriais, porém, pode-se acrescentar que a falta de conhecimento a cerca de suas propriedades nutricionais, ou até mesmo sua existência, também corrobora para o baixo consumo.

Sabe-se, no entanto, que há forte potencial para o sorgo que seja incorporado à alimentação humana (QUEIROZ*et al.*, 2011) principalmente no que se refere à inclusão de cereais integrais à dieta e ingestão de alimentos ricos em fibra alimentar e fitoquímicos. Segundo Awika *et al.* (2004), o sorgo apresenta-se como uma alternativa ao consumo de cereais

convencionais em função da elevada concentração de compostos fenólicos, tais como ácidos fenólicos, antocianinas e taninos, além do alto conteúdo de fibra alimentar.

Figura 3. Sorgo
Fonte: Embrapa Milho e Sorgo

2.2.1. Composição e classificação do sorgo

O valor nutricional do sorgo é semelhante ao do milho (Antunes *et al*., 2008), sendo que a composição apresenta variações de acordo com o genótipo.

De acordo com Waniska e Rooney (2000), o amido é o principal macronutriente, correspondendo a 55,6 – 75,2%.Os teores de proteínas, fibras, lipídios e cinzas variam entre: 7,3 e 15,6%,1,2 e 6,6%, 0,5 e 5,2% e 1,1 e 2,5%, respectivamente. O sorgo também é uma boa fonte de minerais como fósforo, potássio, ferro e zinco (DICKO *et al.*, 2006).

É importante ressaltar que as frações proteicas do sorgo são livres das proteínas do glúten, o que torna este cereal adequado à alimentação de celíacos (QUEIROZ *et al*., 2009)

O sorgo pode se apresentar em diferentes colorações, de acordo com a pigmentação de sua epiderme. Segundoa Portaria n° 268, 22/08/1984(BRASIL, 1984), o sorgo pode se apresentar nas seguintes cores: branco, amarelo, vermelho e marrom/castanho, também chamado de preto por alguns pesquisadores. O sorgo preto é um sorgo vermelho especial que se torna preto quando exposto aos raios solares e tem altos níveis de 3-deoxiantocianidinas, localizados no pericarpo (AWIKA *et al.*, 2004; DYKES *et al.*, 2009).

Outra forma de classificação é de acordo com o teor de taninos, considerado como alto teor, baixo teor ou sorgo sem taninos.

2.2.2. Hibrido de sorgo – BRS 310

Devido à grande demanda por cultivares com maior adaptabilidade às condições de plantio, a Embrapa Milho e Sorgo, desenvolveu híbridos de sorgo. Destes, destaca-se a cultivar BRS310, que tem linhagens parentais com boa resistência às principais doenças, tolerância à toxicidade poralumínio e características favoráveis de porte, ciclo, potencial de produção de sementes, boa capacidade de combinação e boa tolerância ao estresse hídrico pós-florestamento. Além disso, é classificado como simples granífero, sem taninos nos grãos, porte baixo, ciclo médio e recomendado, principalmente, para as regiões Sudeste e Centro-oeste (EMBRAPA, 2004).

Figura 4. Sorgo BRS310
Fonte: Embrapa Milho e Sorgo

2.3. Linhaça, Quinoa e Amaranto

A busca por opções saudáveis na alimentação e a associação desta alimentação à diminuição do risco de doenças é cada vez maior na população. O apelo relacionado à saudabilidade é crescente no mercado o que aumenta a demanda e incorporação de grãos e sementes integrais (também apresentadas na forma de farinhas) às preparações e/ou produtos. Além disso, estudos prospectivos têm confirmado que o maior consumo de alimentos vegetais, tais como frutas, verduras, nozes, sementes e grãos integrais está associado a menor risco de doenças cardiovasculares (GIUGLIANO*et al.*, 2006).

E, por este motivo, a semente de linhaça e os grãos de quinoa e amaranto vêm ganhando cada vez mais espaço nas prateleiras de supermercados e, principalmente, na opção de compra dos consumidores, assim como na incorporação das formulações de barras de cereais que atendem ao apelo de saudabilidade.

2.3.1. Linhaça (*Linum usitatissimum* L.)

A produção mundial de linhaça (semente do linho) é de aproximadamente 2,3 milhões de toneladas/ano, tendo o Canadá como maior produtor (ALMEIDA *et al.*, 2009). No Brasil, o principal produtor é o Rio Grande do Sul que, segundo dados do IBGE (2013), corresponde praticamente a 100% da produção no país.

A linhaça tem despertado interesse e chamado atenção principalmente devido a seu papel enquanto alimento auxiliar na redução do risco de doenças degenerativas como doença cardiovascular aterosclerótica, câncer, diabetes mellitus (STRANDAS, *et al.*, 2008;CASSANI, 2009), estar relacionada ao auxílio na formação da bainha de mielina[5], devido a sua alta composição em ácido graxo α-linolênico (ALMEIDA, 2009) e apresentar alto conteúdo de fitoquímicos antioxidantes, principalmente lignanas[6] (CASSANI, 2009; CORDEIRO, 2009;SIMBALISTA, 2012).

A semente de linhaça contém aproximadamente 41% de lipídio, 28% de fibrasalimentares, 21% de proteínas, além de minerais, vitaminas e carboidratos (CASSANI, 2009). Alvarenga (2012) acrescenta que o percentual de potássio presente na semente é cerca de sete vezes maior que o da banana e, segundo a autora, apresenta também alto teor de vitamina

[5] Bainha de mielina é uma camada de isolamento que reveste as fibras nervosas cerebrais, formada principalmente pelo ácido docosaexahenóico (DHA), um ácido graxo de cadeia longa, oriundo do ácido α-linolênico.

[6] Lignanas são fitoquímicos antioxidantes/polifenóis, também considerados fitoestrógenos, encontrados em alimentos de origem vegetal como grãos integrais, vegetais, oleaginosas, sementes e bebidas como chás, café e vinho. Quando consumidos, são convertidos enzimaticamente, no cólon, à compostos semelhantes ao estrogênio humano, por este motivo estão relacionados à prevenção de diversas doenças degenerativas (CORDEIRO, 2009).

E, na forma de γ-tocoferol. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011), a composição nutricional da semente de linhaça está apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Composição nutricional de semente de linhaça (*Linum usitatissimum* L.)

Componente	Composição (valores em g/100g)
Umidade	6,7
Proteína	14,1
Lipídios	32,3
Saturados	4,2
Monoinsaturados	7,1
Poliinsaturados	25,3
Carboidratos *	9,8
Fibra Alimentar	33,5
Minerais (cinzas)	3,7

Fonte: TACO (2011). *valor calculado por diferença, considerando os demais valores e a quantidade de fibras.

Além disso, o óleo da semente de linhaça apresenta 73% de ácidos graxos poliinsaturados, 18% de ácidos graxos monoinsaturados e 9% de ácidos graxos saturados, além de ser fonte de ácido graxo ômega 3 (ácido α-linolênico), que corresponde à aproximadamente 55% dos ácidos graxos totais (MORRIS, 2001).

2.3.2. Quinoa e amaranto

A quinoa e o amaranto são classificadoscomo pseudocereais. Esta denominação se deve ao fato de que estes grãos pertencem ao grupo das dicotiledôneas, enquanto que os cereais são monocotiledôneas, porém, são tão ricos em amido quanto os cereais (SCHOENLECHNER, SIEBENHANDL e BERGHOFER, 2008). Além do alto teor de amido, os pseudocereais também são muito ricos em proteínas de alta qualidade, o que faz com que sejam reconhecidos por seu valor nutricional.

> O cultivo do amaranto e da quinoa foi um dos maiores nas civilizações pré-colombianas na América Latina. No entanto, após a conquista hispânica, o mesmo foi reduzido, assim como seu consumo, continuando apenas em pequena escala. Atualmente, devido às boas propriedades nutricionais que ambos apresentam, o interesse voltou a aumentar e o cultivo se espalhou para os Estados Unidos, China e Europa, além de ser realizado nos países latino americanos, mais especificamente em alguns países andinos (SCHOENLECHNER, 2008).

A quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.) é um grão nativo da região andina, estando presente desde a Colômbia até o norte da Argentina(FAO, 2013), onde está a maior produção mundial, porém também há produção em algumas regiões do Quênia e Índia. Dados da FAOSTAT (2013) apontam que os principais produtores na América do Sul são Equador, Peru e Bolívia.

Figura 5. Grãos de quinoa
Fonte: acervo pessoal

É reconhecida como um alimento completo devido às suas proteínas de alta qualidade, pois é rica em lisina (JAMES, 2009). Seu consumo é feito como um complemento alimentar, porém, em algumas regiões de países andinos chega a ser usada como substituto da proteína animal (BRADY, 2007). Além do alto teor proteico, a quinoa também é reconhecida por conter

minerais e vitaminas, como vitamina B, vitamina C e vitamina E, sendo a vitamina C considerada o principal componente antioxidante neste grão (SCHOENLECHNER, 2008).

A atenção voltada para a quinoa tem aumentado nos últimos anos (LAUS *et al.*, 2012), devido ao seu excelente perfil nutricional (JAMES, 2009) e, também, à possibilidade de ser usada em substituição a outros grãos na alimentação de pessoas com intolerância ao glúten (ALVAREZ-JUBETE *et al.,,* 2009). A composição química da quinoa está apresentada na Tabela 2.

Já o amaranto tem, aproximadamente, 60 espécies conhecidas pelo mundo, porém as mais usadas são: *Amaranthus caudatus L*., *Amaranthus cruentius L*. e *Amaranthus hypocondriacus*. Além da sua qualidade nutricional, o amaranto também é reconhecido por ser útil para a alimentação de diabéticos, portadores de hipercolesterolemia, doenças coronarianas e hipertensos (MENDONÇA *et al*., 2009), além de ser livre de glúten em sua matriz proteica (SCHOENLECHNER, SIEBENHANDL e BERGHOFER, 2008).

Como todo pseudocereal, os grãos de amaranto apresentam alto teor de amido. É rico em proteínas e, de acordo com Gamel *et al.* (2006), é uma boa fonte de riboflavina, vitamina C, ácido fólico e vitamina E.

Tabela 2. Composição química da quinoa e do amaranto.

	Composição (g/100g)	
Componente	***Amaranthus spp.***	***Chenopodium quinoa***
Umidade	11,1	12,7
Proteína (*N*x5,8)	14,6	13,8
Lipídios	8,81	5,04
Amido	55,1	67,35
Fibra alimentar	11,14	12,88
Minerais	3,25	3,33

Fonte: SCHOENLECHNER *et al.*(2008).

2.4. Inulina

Os frutanos são carboidratos de reserva presentes em muitas plantas. São, portanto, parte da dieta diária, pois ocorre naturalmente em vegetais, frutas e alguns cereais (FRANCK, 2006). Assim sendo, a inulina ocorre naturalmente em diversos vegetais, porém, para a produção industrial, a chicória é a principal matéria-prima de onde é feita a extração (CAPRILES, 2009).

São conhecidos como frutanos, a inulina e a oligofrutose.Ambossão polímeros de D-frutose, podendo, mas não obrigatoriamente, apresentar unidades de glicose.São diferenciados entre si pelo grau de polimerização (GP), sendo a oligofrutose um oligômero, com GP menor que dez e a inulina um polímero, com GP podendo chegar até setenta. De acordo com Meyer (2009), inulina é um termo genérico para denominar os frutanos de cadeia linear que apresentam ligações do tipo β(2-1)(Figura 6) que não são digeríveis pelas enzimas do trato gastrintestinal humano, o que permite que cheguem intactas ao cólon, onde são fermentadas.

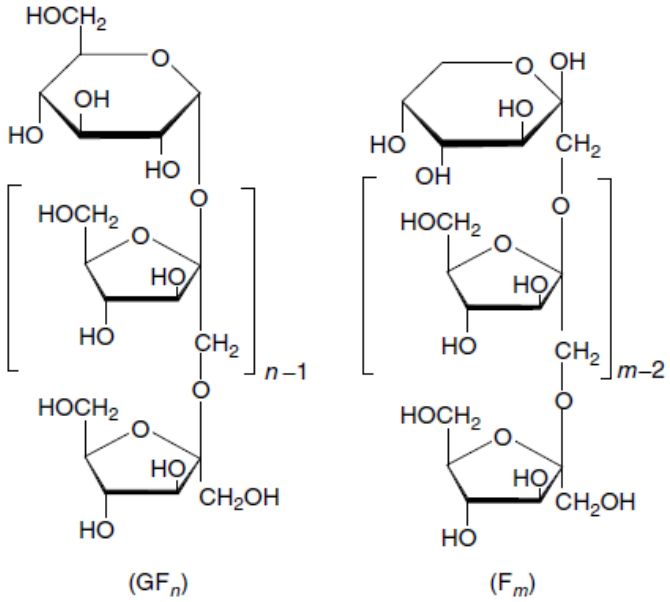


Figura 6. Estrutura química da inulina
Fonte: Franck (2006)

2.4.1. Propriedades tecnológicas da inulina

A funcionalidade tecnológica da inulina está baseada em seu efeito sobre soluções aquosas a vários níveis de sólidos (HAULY *et al.*, 2002). Assim, a viscosidade do meio aumenta de acordo com a concentração de inulina. Em concentração igual ou superior a 30%, inicia-se a formação de um gel com textura semelhantea de gorduras. Neste sentido, a inulina vem sendo utilizada como substituto da gordura em diversos produtos alimentares, além de também influenciar na textura (MEYER *et al*., 2011).

Devido ao maior tamanho da cadeia, a solubilidade da inulina é menor que a das oligofrutoses e o gel formado promove na boca uma sensação de textura mais fina.Franck (2006) ressalta que o GP, assim como a presença de ramificações influencia no comportamento tecnológico da inulina. Meyer *et al.* (2011), estudaram a adição de inulina, em substituição à gordura, na formulação dealguns laticínios e concluíram que o efeito nas propriedades reológicas e de textura depende não somente da concentração, mas também do grau de polimerização e que esta é uma boa opção como substituinte, além de modificar positivamente a percepção de alguns atributos sensoriais.

2.4.2. Inulina como ingrediente prebiótico

A inulina não é digerida pelas enzimas do trato gastrointestinal e é classificada comofibra alimentar, sendo considerada fibra solúvel (CARABIN e FLAMM, 1999; CUNNINGHAM, 2010).Sua fermentação no cólon leva à produção de ácido lático, ácidos graxos de cadeia curta e gases. Por consequência, há redução do pH do lúmen e estimulação da proliferação das células do epitélio intestinal (LOBÃO, 2011), o que faz com que seja considerada um prebiótico.

Os efeitos benéficos atribuídos à inulina são diversos: atuam reduzindo o tempo de trânsito intestinal (HAULY *et al*., 2002) e favorecendoo crescimento (estimulação seletiva) de bifidobactérias no cólon (GLENN *et al.*, 1995; MEYER *et al.*, 2009). A inulina também atua no aumento da absorção de minerais, principalmente do cálcio (DELZENE *et al*., 1995) e na diminuição de triacilgliceróis e dos níveis de colesterol (HAULY *et al.*, 2002), entre outros.

2.5. Extrusão termoplástica

> A tecnologia de extrusão termoplástica vem sendo, nas últimas décadas, amplamenteutilizada na indústria alimentícia, devido às suas inúmeras vantagens tais como:versatilidade, produção contínua em larga escala e por unidade de área, baixo custo cominvestimento, mão-de-obra e energia, qualidade dos produtos com melhores característicasfuncionais, sensoriais e nutricionais e por ser um processo que não gera efluentes (GUERREIRO, 2007).

A extrusão é considerada uma das técnicas mais eficientes e versáteis, combinando tempo curto, aquecimento e cisalhamento para produzir diferentes funcionalidades em uma grande variedade de produtos (DUARTE *et al.*, 2009). Segundo Cheftel (1986), a aplicação do calor úmido em grãos de cereais e tubérculos induz modificações físico-químicas nos grânulos de amido que levam a mudanças reológicas e texturais, aumento da digestibilidade e disponibilidade como fonte de energia.

Além disso, há uma grande versatilidade para as matérias-primas empregadas e para o tipo de produto a ser obtido, desde farinhas a serem usadas na elaboração de novos produtos, alterando suas propriedades tecnológicas como solubilidade e viscosidade, até produtos prontos para o consumo, como biscoitos, cereais matinais, *crispies* e *snacks*, com atributos sensoriais mais atrativos, principalmente a textura. Além das alterações sensoriais, também podem ser observados benefícios de ordem nutricional. Como exemplo, Stojceska (2010) cita o desarranjo do ácido fítico, que afeta suas propriedades quelantes (fator anti-nutricional) e a reorganização das fibras alimentares.

Uma extrusora (equipamento para o processamento por extrusão) é constituída basicamente por um alimentador, um parafuso (ou dois, no caso de modelo dupla-rosca), inserido(s) em um cilindro encamisado (com aquecimento), matriz (por onde sai o material extrusado) e mecanismo de corte (opcional). O alimentador é composto de um recipiente para receber o material a ser processado e de um vibrador ou parafuso (tipo “rosca sem fim”) localizado vertical ou horizontalmente (Figura7).

Figura 7. Extrusora Clextral.
(a) visão lateral (Fonte: www.clextral.com); (b) modelo Evolum EV 25, visão frontal (fonte: acervo pessoal)

A extrusão é considerada um processoHTST (*High Temperature Short Time*)onde há aplicação de calor (altas temperaturas) e alto cisalhamento em curto período de tempo, o que minimiza a degradação de certos nutrientes (GUERREIRO, 2007). As alterações observadas nos produtos são resultado das alterações que ocorrem no arranjo molecular dos polímeros durante e após o processamento por extrusão. O amido é um dos componentes bastante afetado no processamento. Há um rompimento do grânulo, devido ao calor e cisalhamento, e consequente rearranjo molecular. Além disso, a diferença entre as pressões interna e externa (na saída do material) também influenciam significativamente o grau de expansão, da gelatinização do amido e da texturização da fração proteica, que está diretamente associada com as características do produto extrusado final (GUERREIRO, 2007).

3. JUSTIFICATIVA

Os indivíduos portadores de doença celíaca têm dificuldade para encontrar alimentos sem glúten e, ainda, o valormonetário destes é mais alto quando comparado aos produtos convencionais (CAMARGO, 2010). Além disso, o mercado de alimentos *gluten-free* é deficiente quanto à oferta de opções saudáveis (ricos em nutrientes como proteínas, vitaminas e minerais e/ou fonte de fibras) e sensorialmente atrativas, fato que já fez com que a Associação Brasileira de Celíacos (ACELBRA) solicitasse ao governo e às indústrias de alimentos esforços para o desenvolvimento de novos produtos que atendam a esta demanda.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.), por ser isento de glúten, é uma opção interessante como matéria-prima na elaboração de alimentos para a população celíaca. Apresenta valor nutricional semelhante ao milho, é fonte de minerais e rico em compostos bioativos, incluindo taninos, ácidos fenólicos e antocianinas. Outra opção interessante é o uso de grãos integrais, como a linhaça, a quinoa e o amaranto e de frutanos, como a inulina na elaboração de produtos, aumentando seu valor nutricional.

Portanto, a elaboração de uma barra de cereais à base de sorgo e grãos integrais, atenderia à demanda do mercado de conveniência/praticidade quanto à oferta de um produto com alto valor nutricional, seguindo, também, as tendências de saudabilidade e bem estar.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral:

Elaborar uma barra de cereal isenta de glúten e com bom valor nutricional.

4.2. Objetivos específicos:

- Produzir, por extrusão termoplástica, extrusados de sorgo para elaboração de barras de cereais;
- Avaliar o efeito da extrusão sobre a atividade antioxidante dos extrusados de sorgo;
- Identificar a melhor formulação da calda algutinante, substituindo parcial e/ou totalmente o xarope de glicose e a sacarose da formulação;
- Determinar a composição centesimal, atividade antioxidante da barra com a formulação otimizada;
- Avaliar a aceitação sensorial e intenção de compra das barras de cereais produzidas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Matérias primas

5.1.1. Grãos de sorgo

Os grãos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. moench) integrais, cultivar BRS310 (sorgo vermelho hibrido,sem taninos), foram fornecidos pela Embrapa, Milho e Sorgo (Sete Lagoas – MG).

5.1.2. Demais grãos e ingredientes

O sorbitol (sorbitol Polyglobe 0100) foi recebido por doação da empresa Ingredion Brasil Ltda. A inulina (Raftiline®) foi adquirida através da empresa Embrafarma, representante da Orafti-Beneo™ no Brasil. Os grãos de quinoa, as sementes de linhaça, os flocos de amarantoe demais insumos foram adquiridos do comércio.

5.2. Métodos

Todos os métodos, tanto de processamento quanto de análises, foram realizados nas dependências da Embrapa Agroindústria de Alimentos, seguindo os métodos adotados em cada laboratório, em atendimento aos dispostos nas literaturas oficiais e procedimentos padronizados próprios.

5.2.1. Obtenção da farinha crua de sorgo integral

Os grãos integrais de sorgo foram moídos em moinho de martelo LM3100 (Perten Instruments AB, Huddinge, Suécia) equipado com uma peneira de 0,8 mm de abertura.A farinha resultante foiencaminhada paradeterminação de tamanho de partícula, composição centesimal, análise de taninos, determinação de glúten,determinação daatividade antioxidante e processamento por extrusão para produção dos extrusados de sorgo(*crispies*).

5.2.2. Determinação de glúten na matéria prima (sorgo)

A determinação foi feita através da identificação dos marcadores genéticos, comparando-se a amostra com padrões de fontes de glúten e foi realizada em duas etapas:

5.2.2.1. Extração do DNA genômico

As amostras (farina de sorgo e fontes de glúten) foram tratadas para a extração de DNA total usando o método CTAB, utilizando o detergente iônico brometo de cetil-trimetil-amônio como tampão de extração/lise celular, conforme descrito por Murray e Thompson(1980).

5.2.2.2. Reação em cadeia da polimerase - PCR em tempo real usando padrão SYBR GREEN

Foram conduzidas análises para detecção das sequências de DNA que codificam a avenina, hordeína, secalina e gliadina, por PCR em tempo real, usando o sistema SYBR Green. A reação foi realizada no ABI Prism®7500 Sequence detection System (Applied Biosistem), com adição do kit SYBRGreen® PCR Master Mix (1X)(Applied Biosistem), 40ng de DNA e 100nM de cada oliginucleotídeo iniciador (*primer*) específico para cada alvo (avenina, hordeína, secalina e gliadina), em um volume total da reação de 20µL, dos quais 16µL correspondem ao mix e 4µL ao DNA. Os parâmetros de ciclagem térmica utilizados foram: desnaturação inicial a 95ºC por 10min, seguida de 40 ciclos de desnaturação a 95ºC por 15s, hibridização, com temperatura variando de acordo com os *primers* usados, por 1min e extensão a 72ºC por 1min. Foi adicionada uma etapa para a construção da curva de dissociação, importante ferramenta para a discriminação entre o sinal de fluorescência emitido pelos fragmentos amplificados e possíveis amplificações não específicas e dímeros de *primers*.

5.2.3.Determinação do tamanho de partícula

O tamanho de partícula da farinha de sorgo integral foi determinado em equipamento a laser modelo S3500 (Microtrac Inc., Montgomery Ville, EUA), pelo princípio da técnica do espalhamento de luz, que consiste na medição dos ângulos de difração de raio laser e a relação destes com o diâmetro da partícula (França e Couto, 2007). A análise foi conduzida em três ciclos, utilizando água destilada como dispersante/fluido carreador. Foi adotado o índice de refração do amido para os cálculos realizados pelo sistema.

5.2.4. Determinação do teor de taninos na matéria-prima

O teor de taninos foi determinado na matéria-prima (farinha de sorgo crua) através do teste da vanilina conforme descrito por Burns (1971) e Deshpande e Cheryan (1985) com modificações. As amostras de sorgo moídas (10 g) foram desengorduradas em éter de petróleo (20 mL) em um dispersor T25 basic Ultra-Turrax (Ika® Werke, Staufen, Alemanha) a 9500 min^{-1} durante 3 min. A extração de taninos foi realizada usando 1–6 g de amostra desengordurada, com 15 mL de solução HCl/metanol a 10% (v/v) em um agitador tipo Vórtex

Genie 2 (Scientific Industries, Bohemia, NY, EUA) durante 1 min seguido por banho de ultrassom Branson 2210 (VWR Scientific, Bridgeport, NJ, EUA) durante 10 min. A mistura foi mantida a 4°C por 8 h e, em seguida, filtrada. Uma alíquota do extrato filtrado foi adicionado às soluções de vanilina a 4% e HCl/metanol a 10% (branco). Após 20 min de reação, foram feitas leituras em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) a 500 nm. Os taninos condensados foram quantificados usando uma curva de calibração de catequina e os resultados foram expressos em miligramas de catequina/grama de amostra.

5.2.5. Composição nutricional

As matérias-primas sorgo, linhaça e quinoaforam caracterizadas quanto à composição nutricionalde acordo com os métodos oficiais da AOAC (*Association of Official Agricultural Chemists*):

- Umidade – AOAC 925.09(2010)
  Análise termogravimétrica, baseada na diferença entre massa inicial de amostra e a massa após aquecimento em estufa à vácuo, regulada à 98-100ºC e 25mmHg, até peso constante.
- Cinzas – AOAC 923.03 (2005)
  Análise termogravimétrica, baseada na diferença entre a massa inicial da amostra e a massa após a aquecimento (carbonização) em mufla à 500-600ºC.
- Extrato etéreo – AOAC 945.38(2005)
  Extração com éter de petróleo em extrator de Soxhlet e secagem. Por diferença entre a massa final e inicial de amostra foi calculada a quantidade de extrato etéreo da amostra. O resultado foiexpresso em gramas de extrato etéreo/100 g de amostra.
- Nitrogênio total – AOAC método 2001.11(2010), método de Kjeldahl
  Digestão ácida com ácido sulfúrico sob aquecimento a 350°C e destilação com ácido bórico. A fração resultante da destilação foi titulada com uma solução de ácido sulfúrico 0,05 M. O teor de nitrogênio foi calculado segundo a fórmula descrita no método.Para obter o resultado em proteína foi feita multiplicação pelo fator de conversão de nitrogênio (N = 5,75)usado para grãos.

- Fibra alimentar total – AOAC método 2002.04(2010).

  A determinação de fibra alimentar foi feita pelo método enzimático-gravimétrico que consiste na digestão do material previamente desengordurado pelas enzimas alfa-amilase, amiloglucosidase e protease. As amostras foram incubadas a pH 6,0 com α-amilase por 30 min a 100 ºC. O pH foi ajustado para 7,5, e, então, foi adicionada a protease seguida de incubação a 60ºC por 30 min. Após resfriamento, o pH foi ajustado para 4,5 e foi adicionada a amiloglucosidase para hidrolisar as dextrinas. A parte solúvel foi precipitada com etanol 80% (v/v). As amostras foram filtradas e o resíduo foi lavado sucessivamente com etanol e acetona, seco (105ºC/12 h em estufa) e pesado. As correções para matéria mineral e proteína foram feitas e a quantidade total de fibra alimentar total foi calculada segundo as fórmulas descritas no método.

5.2.6. Determinação da atividade antioxidante frente ao radical ABTS

O teste da atividade antioxidante frente ao radical livre ABTS (2,2’ azino-bis [3-ethylbenzo thiazoline-6-sulfonic acid-diammoninum salt])foi realizado de acordo com van Overveld *et al*.(2000), utilizando oácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-carboxilico (Trolox®) como padrão. As leiturasforam realizadas em espectrofotômetro UV-1800 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) em comprimento de onda de 734 nm.

5.2.7. Avaliação da digestibilidade proteica

5.2.7.1.Simulação do processo de digestão *in vitro*

As amostras foram submetidas à simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* (adaptado de OHSAWA et al., 2008). Inicialmente, foi feita simulação da digestão enzimática oral, usando a amilase salivar coletada, durante 2 minutos, a 37°C. Em seguida, foi realizada a fase gástrica, utilizando a enzima pepsina em pH 2,0, 37°C, por 120 min. Após este período, solução foi neutralizada com NaOH 1N e foi conduzida a digestão enzimática intestinal, com o uso de pancreatina, a 37°C, por 120 min. A reação foi interrompida com aquecimento a 100°C, por 5 min. As frações digeridas foram liofilizadas e submetidas à caracterização em eletroforese gel SDS/PAGE.

5.2.7.2.Caracterização do perfil proteico em eletroforese gel SDS/PAGE

As amostras digeridas foram solubilizadas em tampão carbonato e acrescidas de tampão de amostra. Foi utilizado o sistema de eletroforese vertical (BioRad) e a metodologia de preparação dos géis, conforme Laemmli (1970). A concentração de acrilamida usada foi de 12% no gel de separação foi de 12% e de 8% no gel de empilhamento. A corrida eletroforética foi realizada em cuba pequena (Mini Protean), durante 7 h, sob a tensão de 100V. Os marcadores de baixo peso molecular foram obtidos a partir dos seguintes padrões de proteínas (em kDa): fosforilase B 102,57; albumina de soro bovino 72,52; ovalbumina 47,87; anidrase carbônica 34,14; inibidor de tripsina de soja 26,89 e lisozima 17,07. Os géis foram corados com o reagente de cor "coomassie blue R250", durante 12h, e descorados com uma solução de metanol/ácido acético/água destilada (40: 10: 50) por 3h.

5.3. Produção e caracterização dos extrusados de sorgo

5.3.1. Produção dos extrusados de sorgo (*crispies*)

A farinha crua de sorgo foi processada em extrusora dupla rosca Clextral Evolum EV25 (Firminy, França), equipada com matriz de 12 furos com 0,8mm de diâmetro cada, utilizando os seguintes parâmetros de processo: taxa de alimentação de 9 kg/h; temperatura das 10 zonas de aquecimento de 30,30,60,90,100,100,120,120,150 e150ºC (da alimentação à saída do material), 500 rpm de rotação dos parafusos e 14% de umidade. Estes parâmetros foram escolhidos com base nos resultados do trabalho desenvolvido por Solórzano (2012) para produção de extrusados de sorgo (BRS 310). Segundo o autor, nestas condições foi possível obter extrusados com alta expansão e crocância.

5.3.2. Índice de expansão

Foi feita determinação do índice de expansão radial, de acordo com Alvarez-Martinez (1988) e Solórzano (2012).Para o cálculo, foram feitas medidas do diâmetro dos *crispies* de sorgo, com auxílio de um paquímetro, e aplicada a equação1:

$$IER = \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \qquad \text{(equação 1)}$$

5.4. Produção das barras de cereais

5.4.1. Tratamento térmico das sementes de linhaça

As sementes de linhaça foram submetidas a um tratamento térmico (forno) à 120ºC durante 30 minutos, de acordo com Alvarenga (2012), a fim de melhorar sua textura e reduzir o conteúdo de compostos com atividade antinutricional (UNIVIÇOSA, 2010).

5.4.2. Tratamento térmico de quinoa

Os grãos crus de quinoa foram submetidos a um tratamento térmico por 5 minutos em panela antiaderente (aquecimento em temperatura de aproximadamente 90°C), de acordo com Capriles (2009). Com este tratamento, também foi possível melhorar a sua textura e reduzir o sabor adstringente/amargo, característico das saponinas presentes neste grão (SOUZA, SPEHAR e SANTOS, 2004).

5.4.3. Formulação das barras de cereais e delineamento experimental

Para elaboração das barras foram utilizados como ingredientes: sorgo extrusado, produzido como descrito no item 5.2.3.1, linhaça tostada conforme descrito no item 5.2.4, quinoa expandida como descrito no item 5.2.5, flocos de amaranto, sacarose (açúcar comercial), xarope de glicose e água.

A Tabela 3 apresenta a formulação base usada na produção das barras de cereais. Esta formulação foi desenvolvida a partir de testes preliminares baseando na formulação apresentada no trabalho de Freitas e Moretti (2006).

A proporção de mistura dos ingredientes secos (linhaça, quinoa e amaranto) também foi definida em testes preliminares e fixada para todos os tratamentos: 50% de linhaça, 25% de quinoa e 25% de amaranto. A proporção entre calda ligante e ingredientes secos foi determinada em estudos preliminares ficando estabelecida em 50:50.

Tabela 3. Formulação base para barras de cereais.

* proporção entre ingredientes definida no delineamento experimental (Tabelas 4 e 5).

	Ingredientes	Quantidade (g/100g)
Mistura de grãos	Sorgo extrusado Mistura de grãos (linhaça:quinoa:amaranto, 50:25:25)	50,0*
Calda ligante	Xarope de glicose	30,0
	Sacarose	17,5
	Água	2,5

A partir da formulação apresentada na Tabela acima, foram estudadas a substituição parcial e/ou total do xarope de glicose por inulina (agente ligante) e da sacarose por sorbitol (agente edulcorante). Os níveis máximo e mínimo possíveis de substituição que permitiam a formação de barras de cereais com boa coesão foram definidos em testes preliminares.

Foi empregado o delineamento fatorial incompleto 3^3 (BOX & BEHNKEN, 1960) para investigar o efeito de três variáveis independentes, com três níveis de variação (codificados com -1, 0 e 1) nas propriedades das barras de cereais. As variáveis estudadas foram proporção de sorgo na mistura de grãos (X_1), percentual de substituição de xarope de glicose por inulina (X_2) e percentual de substituição de sacarose por sorbitol (X_3). Os níveis das variáveis têm seus valores reais mostrados na Tabela 4. O delineamento é composto por um grupo de 15 ensaios, com 3 repetições no ponto central, representando 48% das combinações teóricas ($3^3 = 27$), possibilitando uma representação bastante precisa da realidade. No entanto foi adicionado mais uma repetição no ponto central, totalizando 16 tratamentos (Tabela 5).

Tabela 4. Variáveis independentes e seus níveis

Variáveis independentes	Níveis		
	-1	0	+1
X_1 = proporção sorgo:mistura de grãos	30:70	50:50	70:30
X_2 = substituição xarope glicose por inulina (%)	50	60	70
X_3 = substituição sacarose por sorbitol (%)	40	70	100

Tabela 5. Delineamento experimental para formulação de barras de cereais.

Tratamentos	Variáveis codificadas		
	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0

Onde: X_1 = proporção de sorgo na mistura de grãos/ X_2 = percentual de substituição de xarope de glicose por inulina/ X_3 = percentual de substituição de sacarose por sorbitol.

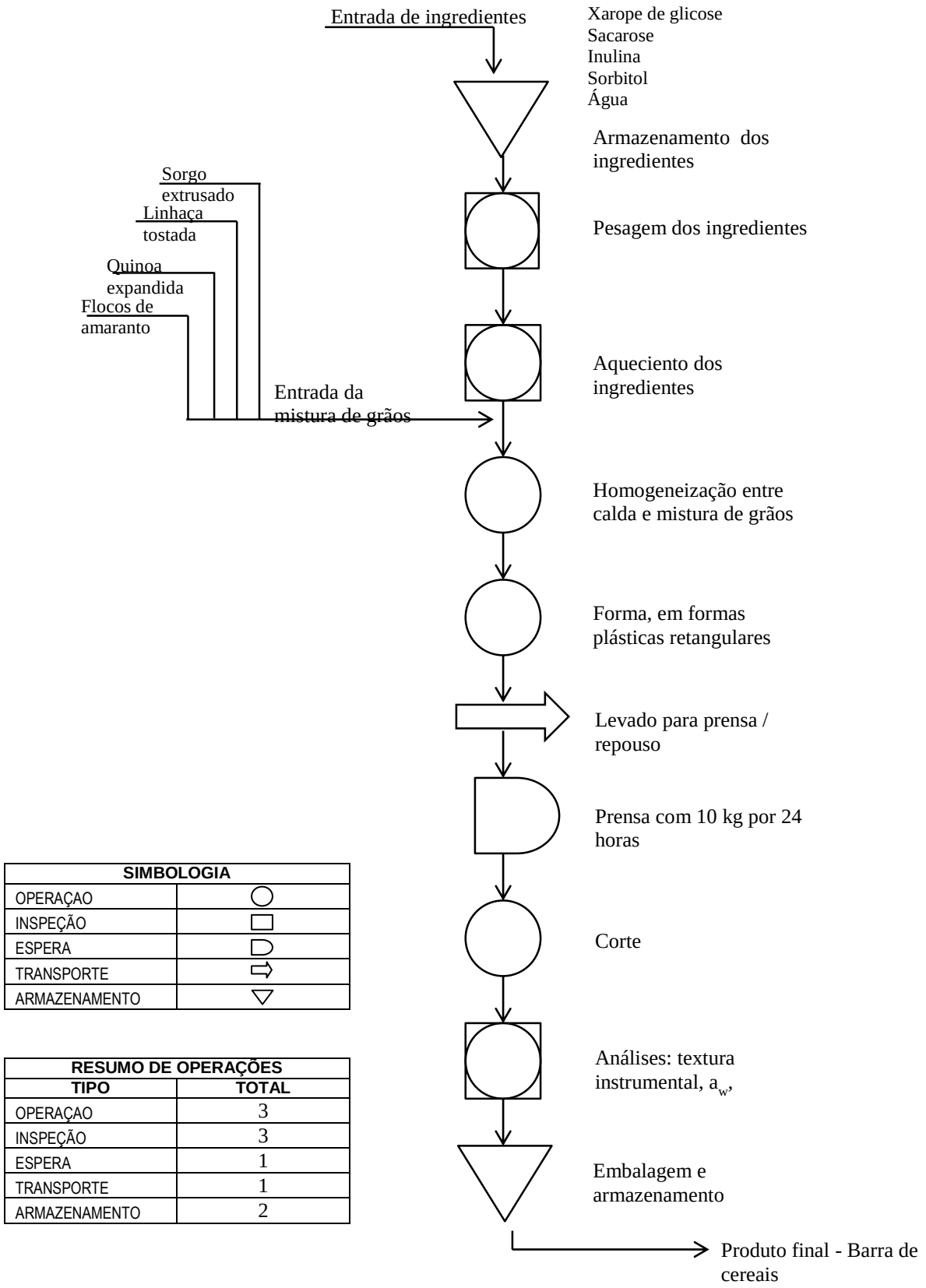
Além das formulações definidas no delineamento experimental, foi feita barra de cereal controle com a formulação base, adotando-se a proporção 50:50 de sorgo e mistura de grãos.

5.4.4. Preparo da calda de aglutinação (ou calda ligante)

A calda de aglutinação foi preparada em recipiente adequado (panela), onde os ingredientes pesados, de acordo com sua proporção, foram aquecidos sob agitação até que fosse observado desprendimento das primeiras bolhas. A partir deste momento, foi mantida a agitação e o aquecimento por 2 minutos.

A mistura de grãos e o sorgo extrusado foram pesados previamente e misturados à calda ainda quente (temperatura de aproximadamente 95°C) de uma só vez,sendo a mistura homogeneizada para distribuição adequada da calda e recobrimento dos grãos.Em seguida a mistura resultante foi enformada e prensada, por 24 horas, com um peso de, aproximadamente, 10 kg. Após, as barras foram cortadas em formato retangular com dimensões de 3 cm x 10 cm. Como a massa adicionada à forma foi a mesma para todas as formulações, a altura das barras variou de acordo com cada formulação produzida.

O fluxograma de produção das barras de cereais está apresentado na Figura 8.



SIMBOLOGIA	
OPERAÇAO	○
INSPEÇÃO	□
ESPERA	D
TRANSPORTE	⇨
ARMAZENAMENTO	▽

RESUMO DE OPERAÇÕES	
TIPO	**TOTAL**
OPERAÇAO	3
INSPEÇÃO	3
ESPERA	1
TRANSPORTE	1
ARMAZENAMENTO	2

Figura 8. Fluxograma de produção das barras de cereais.

5.5. Caracterização das barras de cereais

5.5.1. Determinação da textura instrumental

A textura instrumental das barras de cereais foi determinada em equipamento texturômetro modelo TA XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra), de acordo com Rodrigues (2013), Kim *et al.* (2009) e orientações disponíveis no guia do equipamento.

Foram realizados dois testes, resistência à flexão (tensão), utilizando a sonda Three Point Bending (HDP/3PB) e resistência ao corte (cisalhamento), utilizando a sonda Blade Set Knife (HDP/BSK), ambos com 20 repetições, para todas as formulações do delineamento, a formulação controle e uma barra comercial light. As condições de teste para as análises estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Condições de análise de textura instrumental.

Parâmetros	Firmeza 1 Resistência à flexão	Firmeza 2 Resistência ao corte
Velocidade de pré-teste	1,0 mm/s	1,0 mm/s
Velocidade de teste	3,0 mm/s	1,0 mm/s
Velocidade de pós-teste	10,0 mm/s	1,0 mm/s
Distância*	25 mm	30 mm

* percorrida pela sonda após tocar a amostra.

5.5.2. Determinação da atividade de água

A atividade de água foi determinada, em quintuplicata a 25ºC, usando o analisador AquaLab modelo Lite (Pullman, EUA), em todas as formulações, incluindo a formulação controle e a amostra comercial.

5.5.3. Análise estatística

5.5.3.1. Análise de variância

Para avaliação dos resultados foi feita analise de variância (ANOVA), ao nível 5% de probabilidade, utilizando-se o software Statistica 7.0 (Statsoft, Oklahoma, EUA). A análise de variância descreve o comportamento de um sistema onde estão combinadas variáveis independentes (X_i) e variáveis dependentes ou respostas (Y_i), onde as respostas são função dos níveis em que as variáveis independentes foram definidas e combinadas (ROCHA, 2009). O modelo matemático preditivo foi definido (equação2) para as variáveis resposta. A influência das variáveis foi visualizada através dos gráficos de superfície de resposta, elaborados a partir dos modelos, pelo mesmo programa.

Equação 2. Modelo matemático

$$Y= \beta_0 + \beta_{1X1} + \beta_{2X2} + \beta_{3X3} + \beta_{11X}^2 + \beta_{22X}^2 + \beta_{33X}^2 + \beta_{12X1X2} + \beta_{13X1X3} + \beta_{23X2X3} + \varepsilon$$

Onde:

X_1 = proporção de sorgo

X_2 = percentual de substituição de xarope de glicose por inulina

X_3 = percentual de substituição de sacarose por sorbitol

A adequação do modelo foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2).

5.5.3.2. Otimização do experimento (função desejabilidade)

Foi feita otimização dos tratamentos experimentais utilizando a função desejabilidade (DERRINGER e SUICH, 1980; ÁVILA, ASCHERI e ASCHERI, 2012; SILVA *et al*., 2013), com base nas respostas (variáveis dependentes), objetivando definir a melhor formulação. Para esta otimização, foram feitas as restrições das respostas variando entre 0, 0,5 e 1, conforme apresentado na Tabela 7, adotando-se como referência as respostas obtidas para a amostra comercial (barra de cereal light).

Tabela 7. Restrições para a função desejabilidade.

Variáveis	Variáveis resposta		
	Baixo	Médio	Alto
Firmeza 1	0	1	0
Fraturabilidade	0	1	0
Firmeza 2	0	0	1
a_w	0	0,5	1

O resultado obtido na otimização (desejabilidade), foi adotado como a formulação final para o presente estudo e, a partir destes, foram produzidas novas barras com a formulação indicada e encaminhadas para composição nutricional, determinação da atividade antioxidante e teste sensorial de aceitação do produto.

5.5.4. Composição química da barra de cereal

Foi realizada análise de composição química da barra de cereal formulada após o estudo de otimização. As análises seguiram os métodos descritos no item 5.2.2.2.

5.5.5. Determinação da atividade antioxidante

Foi realizada análise de atividade antioxidante da barra de cereal formulada após o estudo de otimização. As análises seguiram o método descrito no item 5.2.6.

5.5.6. Avaliação da digestibilidade protéica

Foi realizada análise da digestibilidade protéica na barra de cereal formulada após otimização, de acordo com o descrito no item 5.2.7.

5.5.7. Análise sensorial

O teste sensorial de aceitação global e de intenção de compra (MEILGAARD *et al*., 1991) da formulação otimizada da barra de cereal foi conduzido no laboratório de análise sensorial da Embrapa Agroindústria de Alimentos (RJ), com a participação de82 provadores (HOUGH *et al.*, 2006). O projeto que compreende o presente trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), registrado sob o número CAEE 03591312.0.0000.5149 (Anexo 1).

Foi usada escala hedônica estruturada de 9 pontos para a aceitação global, variando de desgostei extremamente a gostei extremamente e de 7 pontos para a intenção de compra, variando de certamente não compraria a certamente compraria.

Uma formulação controle (sem substituição dos ingredientes da calda e com a mesma proporção de flocos de sorgo que a amostra avaliada) foi usada como *dummy*, a fim de minimizar o efeito de primeira amostra.

O cálculo do índice de aceitação foi realizado segundo a equação 2 (PEUCKERT *et al.*, 2010; FEDDERN *et al.*, 2011).

Equação 2:

$$Índice\ de\ aceitação = \frac{Mx\ 100}{Nmáx}$$

Onde: M = média das notas recebidas para o teste

Nmáx = nota máxima

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Determinação do tamanho de partícula

A moagem dos grãos integrais resultou em uma farinha fina e,segundo Altan*et al*. (2009), a distribuição granulométrica é um fator de qualidade da matéria prima para extrusão.E, características como tamanho, distribuição do tamanho e forma das partículas são fatores importantes no desenvolvimento das variáveis do sistema de processamento e estabelecem as características dos extrusados (ONWULATA e KONSTANCE, 2006).

Os resultados estão apresentados na Tabela 8 como média das triplicatas realizadas.

Tabela 8. Distribuição do tamanho de partícula.

Parâmetros	Diâmetro (µm)
D [4,3]	55,22 ±1,07
D [v, 0,9]	139,93 ±1,89
D [v, 0,5]	28,02 ±0,25
D [v, 0,1]	7,73 ±0,075

Foi observado diâmetro médio volumétrico (D[4,3]) de 55,22µm e 90% das partículas (D[v,0,9]) apresentaram tamanho inferior a 140µm. Solórzano (2013),estudando a mesma cultivar de sorgo, obteve partículas com tamanhos maiores que variaram de 106 a 1680 µm, dos quais 64% apresentaram tamanhos compreendidos no intervalo de 710 a 1180µm. Porém há que se considerar que, além da diferença no método de moagem realizado, os estudos apresentavam objetivos diferentes, principalmente no que tange ao processamento. Apesar dos dois trabalhos terem sido conduzidos na mesma extrusora, no caso de Sorlórzano, foi utilizada matriz com abertura de saída de 3,8 mm, enquanto que no presente trabalho foi utilizada matriz de abertura 0,8mm, justificando a necessidade de uma farinha mais fina.

6.2. Determinação de glúten na matéria-prima

O sorgo apresentou resultado negativo para os marcadores genéticos responsáveis pela presença das proteínas do glúten. O gráfico comparativo entre a amostra e os padrões utilizados na análise por PCR em tempo real está apresentado na Figura 9 e demonstra os picos de abertura da fita genômica característicos para os marcadores moleculares das proteínas do glúten, em temperatura próxima a 84°C. Neste caso, é possível observar os picos (resultados positivos) obtidos para trigo, centeio e cevada, bem como a ausência dos picos, indicando resultado negativo para o sorgo, aveia e o controle negativo utilizado no ensaio.

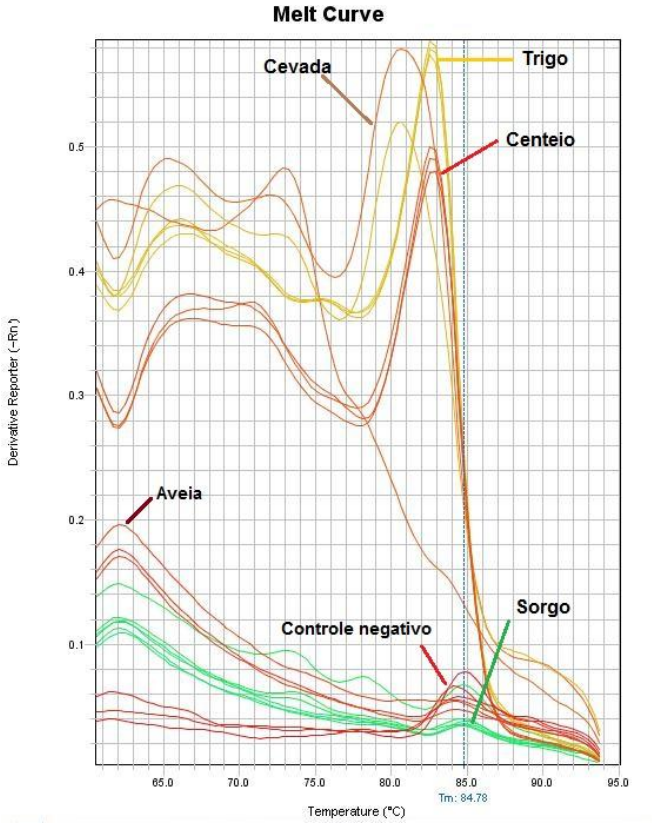


Figura 9. PCR – Gráfico comparativo.

6.3. Quantificação de taninos na matéria-prima

O sorgo utilizado no presente trabalho apresentou ausência de taninos. Tal resultado já era esperado, pois apesar da cultivar BRS310 fazer parte do grupo de sorgos vermelhos (que apresentam baixo teor de taninos) a mesma é um hibrido, sem taninos no seu pericarpo.

Cabe ressaltar que a presença destes compostos varia de acordo com a cultivar de sorgo, e que a presença, além de conferir sabor amargo ao grão, pode ser prejudicial à digestão de alguns compostos, principalmente as proteínas. Portanto, o sorgo do presente trabalho (cultivar BRS 310) pode ser considerado um sorgo de melhor aceitação por apresentar sabor menos adstringente.

6.4. Composição nutricional

Os valores de composição das matérias-primas estão apresentados na Tabela 9. Os valores encontrados estão próximos aos reportados na literatura. As pequenas diferenças observadas podem ser atribuídas à safra, condição climática e/ou de solo.

Tabela 9. Composição nutricional das matérias-primas.

Amostra	Resultados (g/100g)						
	Umidade	Cinzas	Proteínas	Lipídios	Carboidratos	Fibra alimentar	Valor calórico (kcal/100g)
Sorgo BRS310	10,98	1,02	9,81	2,55	76,30	10,3	327,11
Linhaça	5,66	3,25	18,59	40,13	11,07	26,96	452,66
Quinoa	10,49	2,50	13,88	4,92	70,56	8,14	341,92
Amaranto*	-	2,05	13,55	6,88	64,40	4,00	373,33

* as informações referentes aos flocos de amaranto foram obtidas do fabricante/distribuidor.

Importante ressaltar o alto conteúdo de fibras apresentado pela linhaça, bem como seu alto teor lipídico, dos quais se podem destacar os ácidos graxos poliinsaturados ω-3 e ω-6. Estes ácidos graxos são importantes na estrutura da membrana celular, nos processos metabólicos e na produção de eicosanoides (PERINI *et al*., 2010) além de sua importância na formação da bainha de mielina (ALMEIDA, BOAVENTURA e GUZMAN-SILVA, 2009).

Há que se considerar também o teor proteico da linhaça, da quinoa e do amaranto, evidenciando a riqueza proteica atribuída à quinoa devido ao alto teor de lisina presente neste grão (JAMES, 2009).

6.5. Atividade antioxidante

Os resultados da atividade antioxidante da farinha de sorgo crua e extrusada, frente ao radical ABTS, estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Atividade antioxidante do sorgo cru e extrusado

Amostra	Atividade antioxidante (µmolTrolox/g)
Farinha de sorgo crua	14,33[a]
Sorgo extrusado	10,23[b]

Letras diferentes representam diferença significativa(teste de média Tukey, p≥ 0,05)

O resultado de atividade antioxidante na farinha crua foi inferior ao valor apresentado na literatura para grãos vermelhos, 53 µmolTrolox/g (AWIKA e ROONEY, 2004). Porém pode-se atribuir esta diferença à ausência de taninos na cultivar avaliada, uma vez que a relação entre o grau de taninos e a atividade antioxidante é diretamente proporcional (AWIKA e ROONEY, 2004).

Pela análise da Tabela 10, observa-se que o processo de extrusão reduziu a atividade antioxidante. Ainda assim, apesar da redução, houve manutenção de 71% da atividade antioxidante após a extrusão, frente aos valores iniciais. Este mesmo comportamento foi relatado por Chavez (2014) que estudou o processamento de sorgo por extrusão.

6.6. Caracterização dos extrusados de sorgo

A extrusão da farinha de sorgo integral resultou em extrusados amorfos com coloração uniforme, como apresentado na Figura 10.

Figura 10. Extrusados de sorgo

Os extrusados foram caracterizados quanto à atividade antioxidante, conforme apresentado no item anteior (6.6) e quanto à expansão radial.

A expansão radial é uma das medidas que indica o efeito das alterações na conversão do amido, resultantes do processo de extrusão (CHAVEZ, 2014) e está diretamente relacionada às condições do processamento (alto cisalhamento, temperatura e pressão interna), que afetam a gelatinização e rearranjo molecular (SOLÓRZANO, 2013).

Os extrusados apresentaram um diâmetro médio de 2,9 ±0,02mm, o que corresponde a um índice de expansão radial de 13,14.O resultado encontrado é maior do que aqueles obtidos por Solórzano (2013)(7,89), para a mesma cultivar e por Chávez (2014) (4,42 a 7,69) para outras cultivares de sorgo.

Apesar de o processamento ter sido feito nas mesmas condições (temperatura, rotação e umidade) e usando a mesma cultivar de sorgo (BRS 310), a diferença observada entre os índices de expansão observados por Solórzano (2013) e neste trabalho pode estar relacionada aos diferentes tamanhos das matrizes utilizadas. Neste caso, o menor tamanho da matriz de saída do material usada no presente trabalho (0,8 mm) em comparação ao estudo de Solórzano (2013) (3,8 mm) implicou no aumento da pressão do material no interior do equipamento, resultando em maior expansão radial.

6.7. Barras de cereais

As 16 barras formuladas, a formulação controle e a barra comercial podem ser visualizadas na Figura 11.

Figura 11. Barras de cereais

As barras de cereais apresentaram boa aparência, aspecto homogêneo e boa coesão. No entanto, diferiram quanto à altura (dados apresentados na Tabela 11) devido às diferentes densidades dos ingredientes, em especial aos da mistura de grãos. Todas foram elaboradas com a mesma massa e enformadas em recipientes do mesmo tamanho.

Tabela 11. Alturas das barras de cereais

Barra de cereais	Altura (mm)
T1	1,3 ±0,09
T2	2,5 ±0,25
T3	1,5 ±0,05
T4	3,0 ±0,12
T5	1,7 ±0,20
T6	3,2 ±0,16
T7	1,8 ±0,15
T8	2,5 ±0,12
T9	2,6 ±0,10
T10	2,1 ±0,10
T11	2,2 ±0,19
T12	2,0 ±0,17
T13	1,9 ±0,12
T14	2,0 ±0,23
T15	2,4 ±0,28
T16	2,3 ±0,08

As barras com maior teor de sorgo na formulação foram as que apresentaram as maiores alturas.

6.8. Textura instrumental e atividade de água

As médias dos resultados dos 16 ensaios do delineamento experimental estão apresentados na Tabela 12 e na Tabela 13 estão os coeficientes do modelo de regressão e a análise de variância (ANOVA) elaborados a partir desses resultados.

A discussão dos dados de cada variável dependente , bem como a superfície de resposta gerada a partir dos dados serão realizadas a seguir.

6.8.1. Textura instrumental

Os dois testes de textura instrumental realizados, ofereceram duas respostas distintas, a saber:

Firmeza 1 - tensão, dada pela força máxima (N),correspondendo ao momento de fratura/quebra da amostra;

Firmeza 2 - cisalhamento ou corte, dada pela força máxima (N) requerida para corte/rompimento da amostra.

Importante ressaltar que os resultados de tensão (Firmeza 1) foram obtidos pelo teste *three point bending*, teste fundamental para alimentos em "forma de folha", e estão diretamente relacionados ao movimento descendente feito durante a mastigação(KIM *et al.*, 2009). Já os resultados de cisalhamento/corte (Firmeza 2) estão relacionados à força requerida para penetração dos dentes no alimento, particularmente os incisivos (KIM *et al.*, 2009).

Tabela 12. Resultados experimentais para textura instrumental e atividade de água das barras de cereais segundo o delineamento fatorial incompleto 3^3.

	Variáveis independentes			Respostas		
Ensaios	SORGO	INULINA	SORBITOL	Firmeza 1 (Flexão)	Firmeza 2 (Corte)	aW
1	30	50	70	4,64±1,42	1,50±0,53	0,55±0,01
2	70	50	70	4,70±1,09	0,66±0,25	0,54±0,00
3	30	70	70	11,56±3,71	3,28±1,02	0,54±0,01
4	70	70	70	6,31±4,43	2,01±0,57	0,51±0,02
5	30	60	40	4,57±2,65	7,36±2,90	0,45±0,01
6	70	60	40	1,88±1,28	1,64±0,78	0,53±0,02
7	30	60	100	15,03±5,29	2,81±0,79	0,44±0,01
8	70	60	100	6,48±3,01	0,80±0,12	0,51±0,01
9	50	50	40	5,04±3,59	4,03±1,18	0,42±0,01
10	50	70	40	1,55±0,77	2,63±0,81	0,34±0,02
11	50	50	100	7,53±4,27	1,13±0,45	0,50±0,01
12	50	70	100	7,95±4,82	1,53±0,59	0,38±0,01
13	50	60	70	3,44±1,29	1,88±0,61	0,48±0,01
14	50	60	70	7,20±2,62	1,66±0,52	0,52±0,01
15	50	60	70	6,09±3,12	1,84±0,89	0,48±0,01
16	50	60	70	8,06±5,82	2,27±0,90	0,44±0,01
Cont.*	50	0	0	12,36±7,13	8,94±0,27	0,40±0,01
Com.**	-	-	-	6,26±1,36	10,57±1,38	0,55±0,01

Resultados expressos como a média das leituras ± desvio padrão, sendo média de 20 repetições para os resultados de firmeza 1 e firmeza 2 e de 5 repetições para atividade de água.

TABELA 13. Coeficientes de Regressão e Análise de Variância (ANOVA) dos modelos matemáticos simplificados das variáveis respostas.

		Variáveis resposta		
Coeficientes		Firmeza 1	Firmeza 2	aW
	β_0	6,438*	2,448*	0,476*
Linear	β_1	-4,103	-2,460*	0,031
	β_2	1,363	0,534	-0,061
	β_3	5,99*	-2,346	0,023
Quadrático	β_{11}	-1,039	-0,387	-0,064*
	β_{22}	0,435	0,437	0,011
	β_{33}	0,247	-0,853*	0,060*
Interação	β_{12}	-2,654	-0,215	-0,009
	β_{13}	-2,929	1,856	-0,004
	β_{23}	1,954	0,903	-0,015
R^2		0,7778	0,8314	0,7576

Modelo completo: $Y= \beta_0 + \beta_{1X1} + \beta_{2X2} + \beta_{3X3} + \beta_{11X}^2 + \beta_{22X}^2 + \beta_{33X}^2 + \beta_{12X1X2} + \beta_{13X1X3} + \beta_{23X2X3} + \varepsilon$, onde x_1 = sorgo, x_2 = percentual de inulina, x_3 = percentual de sorbitol;
*modelo significativo a $p \leq 0,05$.

6.8.1.1.Firmeza 1 – resistência à flexão /tensão

De acordo com a análise de variância (ANOVA, Tabela X), o modelo matemático para a Firmeza 1 apresentou R^2 de 0,78. Embora este não seja um valor alto, de acordo com Costa (2008) pode ser considerado como bom e indica que 78% das respostas estão compreendidas no modelo matemático observado. Também foi observada influência significativa apenas pelo efeito linear direto do sorbitol, como pode ser observado no diagrama da Pareto (Figura 12).

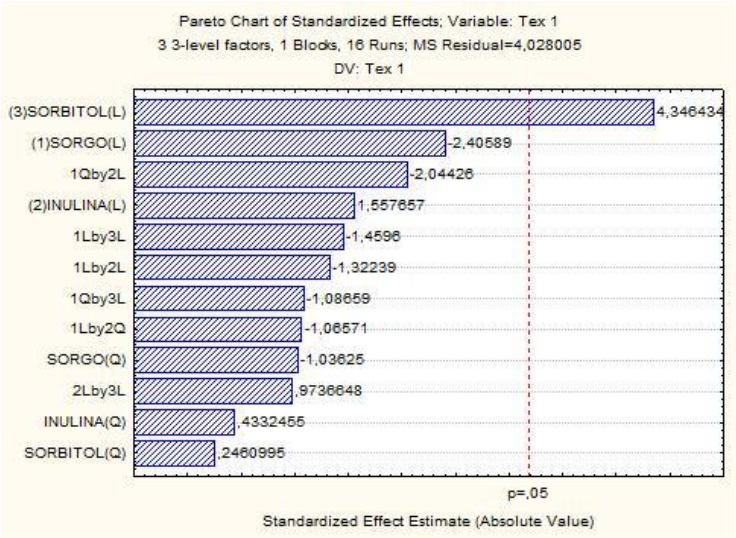


Figura 12. Diagrama de Pareto para Firmeza 1.

A análise dos efeitos (Tabela 13 e Figura 13) indicou influência significativa direta para o percentual de sorbitol na formulação, ou seja, quanto maior a concentração de sorbitol, maior a força necessária para fraturar/romper a amostra. Apesar de o sorbitol ser um agente plastificante, isto é, apresenta efeito da redução da força necessária para flexionar e/ou romper a barra, no presente trabalho, foi observado um efeito contrário. Tal influencia pode se dar pela possibilidade de comportamento anti-plastificante do sorbitol, sob determinadas condições. Shimazu, Mali e Grossmann(2007) apontam que o efeito antiplastificante do sorbitol é um indicativo de que forte interação entre este e outros biopolímeros esteja ocorrendo. Esta interação reduz a mobilidade molecular e a capacidade de ligação com a água.

Conforme apresentado na Tabela 12., os resultados de firmeza 1 variaram de 1,55 a 15,03N. Rodrigues (2013), estudando barras comerciais da cidade de Campinas, obteve resultados entre 9,27e 66,30 N, para a mesma análise. Enquanto que Dutcosky *et al*. (2005, apud Rodrigues, 2013 p. 79), obtiveram resultados mais próximos dos encontrados no presente trabalho, com valores de 4,28a 17,73 N.

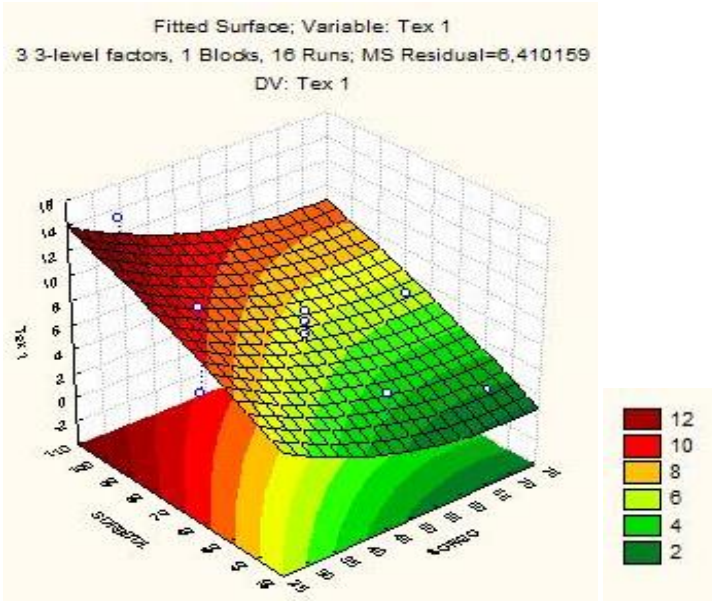


Figura 13. Gráfico de superfície de resposta para Firmeza 1.

6.8.1.2.Firmeza 2 - Resistência ao corte / cisalhamento

De acordo com a análise de variância (ANOVA, Tabela 13), o modelo matemático para a Firmeza 2 apresentou R^2 de 0,83, considerado por Costa (2008) como muito bom e indica que 83% das respostas estão compreendidas no modelo matemático observado. Também foi observada influência significativa inversa pela ação linear do sorgo e pela ação linear do sorbitol (Figura 14).

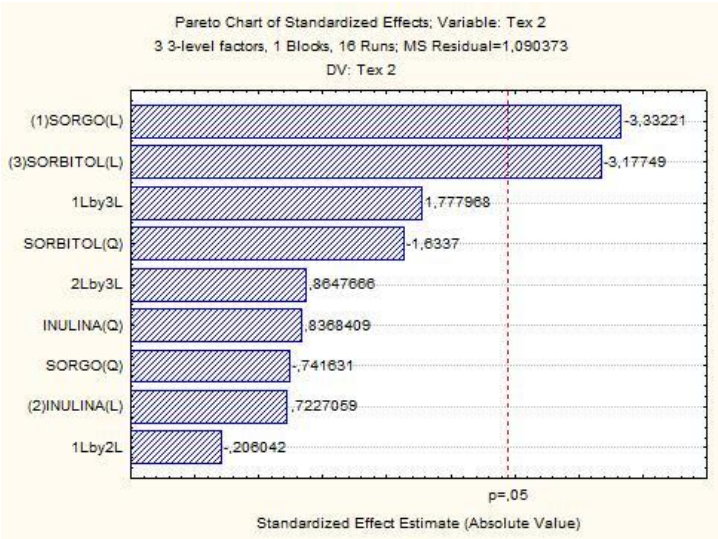


Figura 14. Diagrama de Pareto para Firmeza 2.

A estrutura de uma barra de cereais é resultado do tipo e da concentração dos ingredientes que a compõem, além do tamanho e da granulometria destes que, quanto menores resultarão em maior compactação das barras e, consequentemente, exigindo força necessária ao corte (SILVA, 2009). Isto explica a relação inversa observada entre a proporção de extrusado de sorgo e a Firmeza 2, onde a maior quantidade de sorgo, e, por conseqüência, menor quantidade dos demais ingredientes secos, levou a menores valores de força para o corte.

Além disso, como já comentado, observou-se, também, uma relação inversa entre o percentual de sorbitol e a Firmeza 2, ou seja, quanto maior o teor de sorbitol, menor a força necessária para a perfuração da barra.Tal fato que pode ser justificado, também, pela atividade inibidora da cristalização e pela alta umectância apresentadas pelo sorbitol (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010).O gráfico de superfície de resposta (Figura 15) demonstra a tendência observada para a Firmeza 2..

Os resultados de firmeza 2 variaram de 0,66a 7,36N. Rodrigues (2013) obteve resultados de 24,84 a 39,87 N para barras de cereais com prebióticos e resultados de 27,39 a 55,52 N para barras comerciais. Valores maiores do que os obtidos no presente estudo. Já Dutcosky *et al*. (2005, apud Rodrigues, 2013 p. 108) encontraram valores de 2,57 a 11,14 N, mais próximos do que os resultados aqui apresentados.

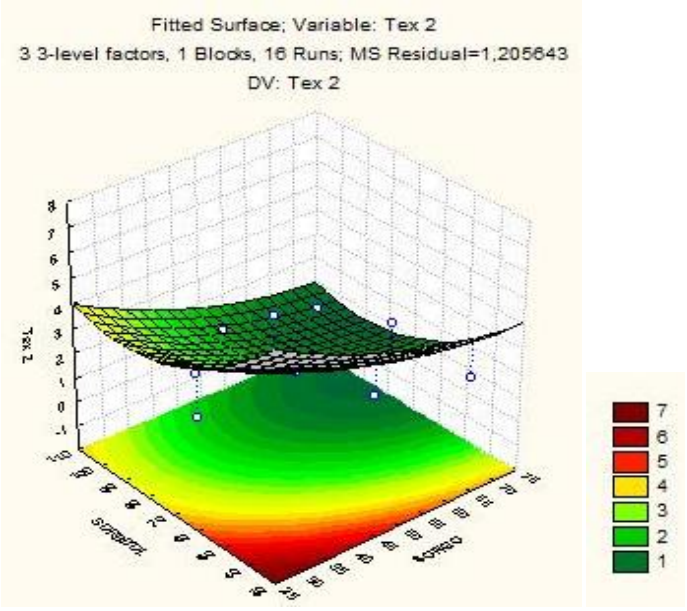


Figura 15. Gráfico de superfície de resposta para Firmeza 2

6.8.2. Atividade de água

Considerando a análise de variância (ANOVA, Tabela 13), o modelo matemático para a atividade de água apresentou R^2 de 0,76, que, apesar de não ser um valor alto, é reportado por Costa (2008) como bom e indica que 76% das respostas estão compreendidas no modelo matemático observado. Além disso, foi possível observar que a atividade de água foi influenciada significativamente apenas pelos efeitos quadráticos do sorgo e do sorbitol (Figura 16).

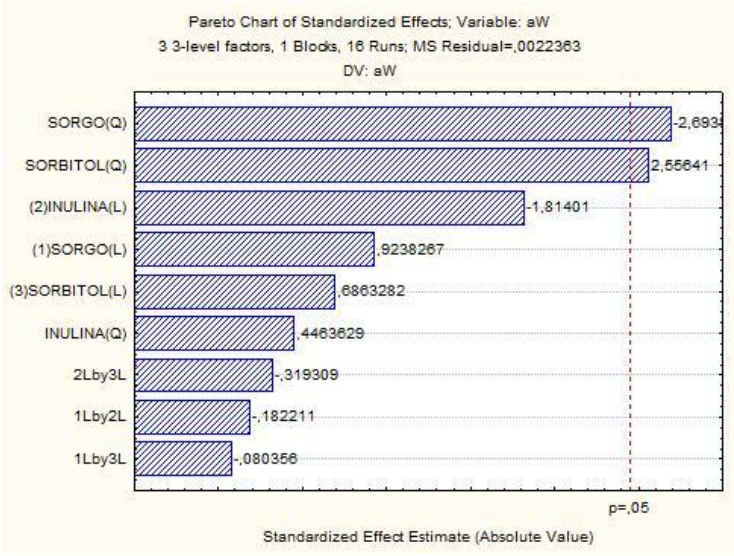


Figura 16. Diagrama de Pareto para atividade de água

A influência negativa observada para a quantidade de sorgo pode ser explicada pela maior absortividade de água deste insumo frente aos demais ingredientes secos usados na formulação, principalmente por estes serem, em sua maioria, grãos íntegros. Outro ponto importante de se observar é o alto teor lipídico (hidrofobicidade) da linhaça, maior componente da mistura dos grãos.

Em relação à influência quadrática do sorbitol (Tabela 13), segundo a lei de Raoult e, também, observada no modelo de Chen (MOURA, HUBINGER e VITALI, 1998) há uma relação diretamente proporcional entre a massa molar dos solutos e a atividade de água, isto é, solutos com menor massa molar são mais efetivos para reduzir a atividade de água do sistema. No entanto, o presente trabalho indicou um comportamento oposto à lei de Raoult, visto que a massa molar do sorbitol ($C_6H_{14}O_6$ - 182,17g/mol) é menor que a da sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$ - 342g/mol) e, mesmo assim, quanto maior o teor de sorbitol, maior foi a atividade de água observada (Figura 17).

A influência direta atribuída ao percentual de sorbitol pode ser, então, justificada pela alta atividade umectante que este poliol apresenta (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010). Além disso, há que se considerar o efeito antiplastificante desempenhado por este poliol, devido a sua interação com um polímero, possivelmente o amido. Tal interação diminui sua capacidade de interação com a água (SHIMAZU, MALI E GROSSMANN, 2007).

Os resultados para atividade de água variaram de 0,34 a 0,55. Todas as amostras apresentaram atividade de água inferior a 0,60, o que indica estabilidade ao crescimento de microrganismos. Valores de atividade de água acima de 0,60 indicam possibilidade de multiplicação/crescimento de bactérias e fungos (EVANGELISTA, 2003). Rodrigues (2013), estudando barras de cereais comercias da cidade de Campinas, encontrou valores de atividade de água entre 0,39 e 0,62. A mesma autora, estudando a elaboração de barras com ingredientes prebióticos (inulina e frutooligossacarídeos), encontrou valores de atividade de água entre 0,51e 0,54.

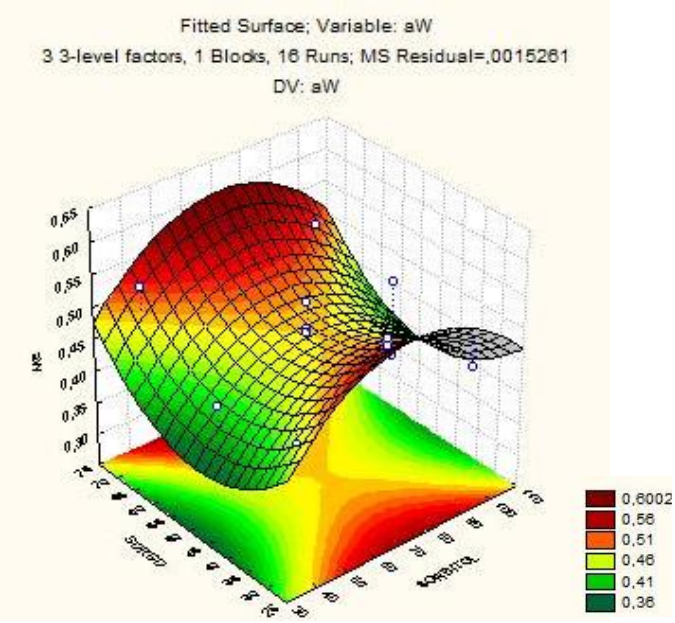


Figura 17. Gráfico de superfície de resposta para atividade de água

6.9. Otimização do experimento – função desejabilidade

Adotando-se como referência os valores das respostas para a barra comercial, a função desejabilidade indicou como formulação otimizada a que apresentasse proporção de 30:70 entre sorgo e mistura de grãos, 60,5% de substituição de xarope de glicose por inulina e 49% de substituição de sacarose por sorbitol, conforme o perfil dos valores preditivos e desejabilidade apresentados na Figura 18.

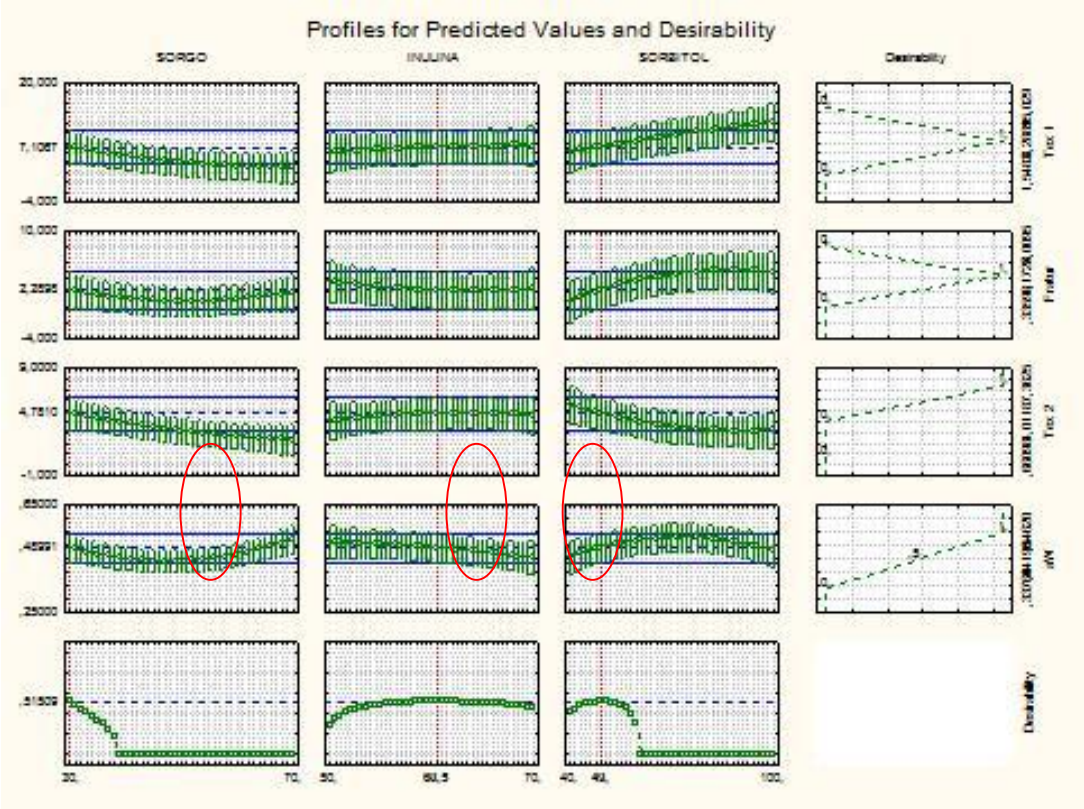


Figura 18. Perfil dos valores preditivos e desejabilidade das barras de cereais

A nova barra produzida (formulação otimizada) foi avaliada quanto a composição nutricional, atividade antioxidante e aceitação sensorial global e intenção de compra.

6.10. Composição nutricional da barra de cereal

A barra de cereal, formulação otimizada, foi analisada quanto à composição nutricional e os resultados estão apresentados na Tabela 14. Os resultados indicaram um alto teor de fibras.

Tabela 14. Composição nutricional da barra de cereais

Item	Resultados (g/100g)
Carboidratos*	45,96
Proteínas	8,94
Lipídios	9,36
Cinzas	1,42
Fibra alimentar**	25,49
Valor calórico	318 kcal

*calculado por diferença Carboidratos = 100 – (proteínas+lipídios+umidade+cinzas+fibras); **cálculo teórico em função das matérias-primas.

Para uma melhor observação e avaliação destes resultados, foram feitos os cálculos para uma porção de 20 g, o que corresponde a uma barra de cereal (tamanho e peso comercial). E, para fins de comparação (Tabela 15), foram feitos os cálculos teóricos da composição nutricional da formulação controle e compilados os dados informados na rotulagem da barra comercial.

Tabela 15. Composição nutricional da barra de cereais – avaliação comparativa

	Resultados/ porção de 20g = uma barra		
	Barra de cereal	Barra controle*	Barra comercial**
Carboidratos (g)	9,91	14,54	15
Proteínas (g)	1,79	1,43	0,9
Lipídios (g)	1,87	1,69	0,6
Cinzas (g)	0,28	0,22	-
Fibra alimentar (g)	5,09	1,47	0,6
Valor calórico	63,63 kcal	79,03 kcal	69 kcal

*Dados teóricos, calculados em função dos resultados das matérias-primas; ** valores obtidos da informação nutricional de rotulagem do produto.

Os resultados observados para fibras 5,09 g/20 g apontam para a possibilidade da Informação Nutricional Complementar (INC) “alto teor de fibras”, uma vez que o valor encontrado é superior ao preconizado pela RDC n°54, mínimo de 5 g por porção (BRASIL, 2012). Além disso, a porção de 20 g da barra de cereal otimizada oferece 3,63 g de inulina, o que permite a alegação de propriedade funcional, de acordo com a RDC

n°18, ANVISA (BRASIL, 1999). Assim, a embalagem de uma barra elaborada com esta formulação poderia trazer os dizeres: “A inulina contribui para o equilibrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”.

6.11. Atividade antioxidante

Os resultados da atividade antioxidante da barra de cereais, frente ao radical ABTS, está apresentado na Tabela 16. Para fins de comparação, o resultado de atividade antioxidante do sorgo extrusado, já apresentados no item 6.5, está repetido na mesma tabela

Tabela 16. Atividade antioxidante do sorgo cru, sorgo extrusado e da barra de cereais

Amostra	Atividade antioxidante (μmolTrolox/g)
Sorgo extrusado	10,23
Barra de cereais	6,05

Foi obtido resultado de 6,05 μmolTrolox/g de atividade antioxidante na barra de cereais elaborada a partir da formulação otimizada. Comparando-se com o sorgo extrusado utilizado no preparo das barras e considerando a quantidade de sorgo (15%) na barra de cereais, o referido resultado indica atividade antioxidante desta quatro vezes maior que a do sorgo. Isto indica que houve contribuição das demais matérias primas utilizadas (linhaça, quinoa e amaranto), para a atividade antioxidante no produto final.

6.12. Digestibilidade protéica

Foi realizada análise da digestibilidade das proteínas no sorgo cru, no sorgo extrusado na barra de cereais, após a simulação da digestão e, para fins de comparação, no sorgo cru e extrusado sem simular a digestão *in vitro*. Os resultados (gel) de todas as amostras estão apresentados na Figura 19.

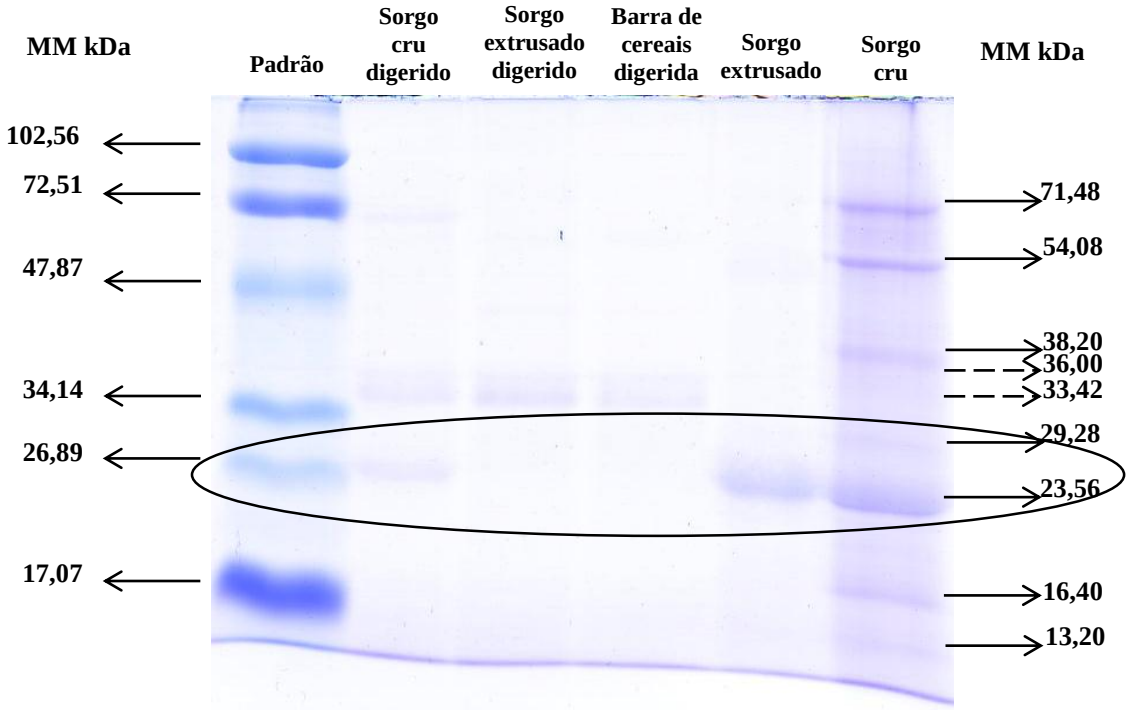


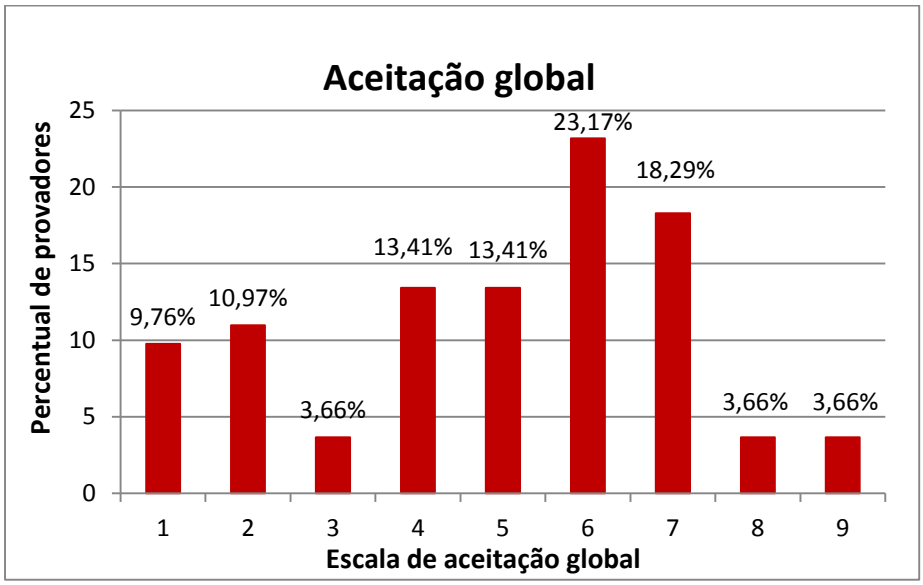
Figura 19. Caracterização do perfil proteico em eletroforese gel SDS/PAGE

A região da figura destacada pela elipse indica a região característica das α-kafirinas, caracterizadas em SDS/PAGE por bandas entre 25,00 e 23,00 MM (Belton *et al*.2006). Verificando-se a referida região, é possível observar a presença das bandas nas amostras de sorgo cru e sorgo extrusado sem a digestão *in vitro* e na amostra de sorgo cru após a digestão *in vitro*. As amostras de sorgo extrusado e barra de cereais após a digestão in vitro não apresentaram as bandas características das kafirinas, indicando que o processamento por extrusão auxiliou na digestibilidade dessas proteínas. É importante ressaltar que este grupo de proteínas recebe atenção especial nas pesquisas com sorgo, justamente por apresentarem dificuldade em serem digeridas.

6.13. Análise sensorial

Quando se desenvolve um novo produto, um dos pontos fundamentais é sua aceitabilidade em ordem de predizer seu comportamento frente ao mercado consumidor (ROBERTSON, 1999).

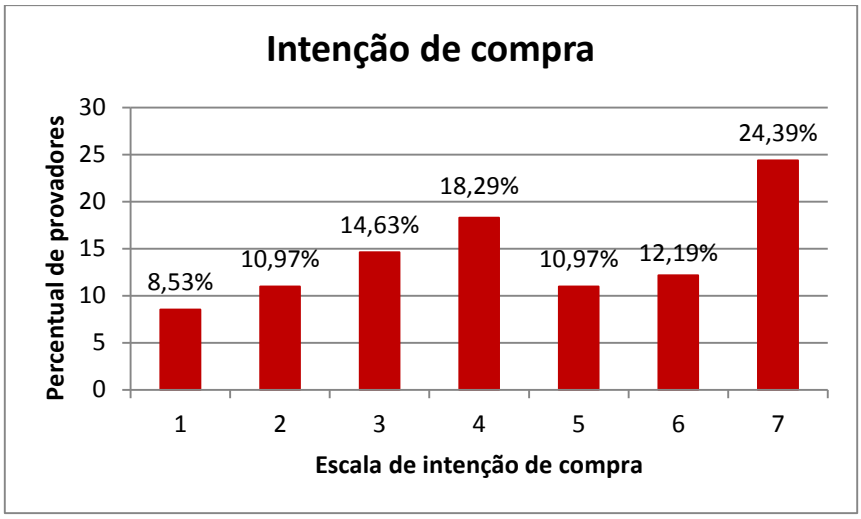
A distribuição percentual das notas de aceitação global e de intenção de compra para a formulação otimizada estão apresentadas nas Figuras 19 e 20, respectivamente.



1. desgostei extremamente; 2. desgostei muito; 3.desgostei moderadamente; 4.desgostei ligeiramente; 5.nem gostei, nem desgostei; 6.gostei ligeiramente; 7.gostei moderadamente; 8.gostei muito; 9.gostei muitíssimo

Figura 19. Aceitação global das barras de cereais

O índice de aceitação calculado com base nas respostas de aceitação global, 54,74%, foi inferior ao valor reportado na literatura para que a amostra seja considerada aceita, 70% (SANTOS *et al.*,, 2010). Apesar disso, pode-se considerar a amostra como satisfatória, visto que cerca de 50% dos provadores declararam ter "gostado" a "gostado muitíssimo" da barra de cereal.



1.certamente não compraria; 4.talvez comprasse, talvez não comprasse; 7.certamente compraria

Figura 20. Intenção de compra para a barra de cereal

Dos 82 provadores, 50% responderam positivamente (5 a 7 da escala) à intenção de compra da barra de cereal.

Os percentuais de aceitação global e intenção de compra observados no teste podem ser atribuídos ao fato de o produto não apresentar similares no mercado, principalmente quanto ao sabor apresentado pelo sorgo. Outro fator que pode ser considerado é o menor dulçor apresentado pela amostra, pois este atributo foi evidenciado nos comentários informais feitos por alguns dos provadores no momento do teste.

7. CONCLUSÕES

As matérias-primas selecionadas apresentaram composição nutricional semelhante à reportada na literatura. E o sorgo apresentou resultado negativo para os marcadores moleculares das proteínas do glúten.

O processamento por extrusão foi satisfatório como tratamento térmico do sorgo, principalmente, no que se refere à manutenção de 71% da atividade antioxidante apresentada por este cereal ainda cru.

Os testes para produção das barras de cereais evidenciaram a influência significativa do sorbitol e da proporção de extrusados de sorgo sobre os atributos de textura e a atividade de água. Foi observada influência direta do sorbitol sobre a resistência à flexão e uma influência inversa tanto do sorbitol quanto dos extrusados de sorgo na resistência ao corte. Já a atividade de água foi influenciada diretamente pelo sorbitol e inversamente pelo sorgo.

Para otimização da produção das barras, obteve-se uma formulação com proporção 30:70 entre extrusados de sorgo e mistura de grãos, 60,5% de substituição de xarope de glicose por inulina e 49% de substituição de sacarose por sorbitol, considerando a formulação base definida neste estudo. A barra de cereal produzida com esta formulação apresentou alto teor de fibras e possibilidade de alegação de propriedade funcional (dados teóricos da inulina), em atendimento às legislações vigentes.

Devido as matérias primas utilizadas em adição ao sorgo, a barra de cereais formulada apresentou atividade antioxidante quatro vezes maior do que se fossem usadas outras que não apresentassem esta atividade, considerando as proporções de mistura utilizadas.

O processamento por extrusão contribuiu para melhoria da disgestibilidade das proteínas do sorgo, em especial as α-kafirinas.

O teste sensorial de aceitação global e intenção de compra apresentou índice de aceitação de 54%. Dos 82 provadores participantes, 50% responderam terem gostado da amostra e que a comprariam.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, K.C.L.; BOAVENTURA, G.T.; GUZMAN-SILVA, M.A. A linhaça (Linum usitatissimum) como fonte de ácido α-linolênico na formação da bainha de mielina. **Revista Nutrição**, v. 22, p. 747-754, 2009.

ALVARENGA, I.C. **Armazenamento e forneamento de linhaça**. Lavras:UFLA. 2012. Dissertação. Universidade Federal de Lavras.

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

ANTUNES, R.C., RODRIGUEZ, N.M., GONÇALVES, L.C., RODRIGUES, J.A.S., PEREIRA, L.G.R., FONTES, D.O., BORGES, I. BORGES, A.L.C.C., SALIBA, E.O.S. **Valor** nutritivo de grãos de sorgo com diferentes texturas do endosperma para leitões. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**., v. 60, n. 3, p.713-718, 2008.

AOAC. **Official methods of analysis AOAC**.18 ed. Maryland: Gaithersburg, 2005.

ÁVILA, R., ASCHERI, D.P.R., ASCHERI, J.L.R. Caracterização dos rizomas filhos e da fécula do mangarito e *Xanthosoma mafaffa Schott* elaboração de filmes biodegradáveis. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.30, p. 35-52, 2012.

AWIKA, J.M.; ROONEY, L.W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, p. 1199-1221, 2004.

BRADY, K., HO, C-T., ROSEN, R.T., SANG, S., KARWE, M.V. **Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa**. Food Chemistry, v. 100, p. 1209-1216, 2007.

BRASIL. ANVISA Resolução da Diretoria Colegiada RDC n° 54 Regulamento técnico sobre informação nutricional complementar, 12/11/2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Portaria n°268, de 22/08/1984. Normas de Identidade, Qualidade, Apresentação e Embalagem do Sorgo, **Diário Oficial da União**, 1984. Disponível em: http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=141972274Acesso em: 24/06/2014.

BELTON, P.S., Delgadillo, I., Halford, N.G., Shewry, P.R. Kafirin structure and functionality. **Journal of Cereal Science** n. 44, p. 272–286, 2006.

CAMARGO, A.C.R. **Perfil e necessidades de pacientes celíacos**. São Paulo: UNIBAN. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Univers. Bandeirante de São Paulo.

CAPRILES, V.D. – **Otimização de propriedades nutricionais e sensoriais de produtos à base de amaranto enriquecidos com frutanos, para intervenção em celíacos**. São Paulo: USP. 2009. Tese, Universidade de São Paulo.

CARABIN, I.G., FLAMM, W.G. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. **Regulatory Toxicology and Pharmacology** v. 30, p.268–282, 1999.

CARVALHO, C.W.P., TAKEITI, C. Y., ONWULATA, C.I., PORDESIMO, L.O. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: effect of particle size on the extrusion of corn meal. **Journal of Food Engineering**, v. 98, p. 103-109, 2010.

CASSANI, R.S.L. **Linhaça e lignanas: efeito do consume sobre indicadores nutricionais e inflamatórios**. Ribeirão Preto: USP. Tese. Universidade do Estado de São Paulo.

CHAVEZ, D.W.H. **Efeito do processamento por extrusão de farinhas mistas de pó de café e sorgo sobre as propriedades físico-químicas e capacidade antioxidante**. Seropédica: UFRRJ 2014. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

CHAVEZ-JAUREGUI, R.N.; SANTOS, R.D.; MACEDO, A.; CHACRA, A.P.M.;MARTINEZ, T.L.; ARÊAS, J.A.G. Effects of defatted amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) snacks on metabolismo of patients with moderate hypercholesterolemia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 1007-1010, 2010.

CHEFTEL, J.C. - Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, v. 20: 263-283, 1986

CONAB Acompanhamento da safra brasileira – Grãos, décimo levantamento. Compania Nacional de Abastecimento, v.2. Safra 2014/2015 n.10 http://www.conab.gov.br//OlalaCMS/uploads/arquivos/15_07_09_08_59_32_boletim_graos_julho_2015 Acesso em: 13/08/2015

CORDEIRO, R.; FERNANDES, P.L.; BARBOSA, L.A. Semente de linhaça e o efeito de seus compostos sobre as células mamárias. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, p. 727-732, 2009.

COSTA, W.A., OLIVEIRA, C.A.S., KATO, E. Modelos de ajuste e método para a determinação da curva de retenção de água em um latossolo-vermelho-amarelo. **Rev Brasileira de Ciênicias do Solo**, v. 32, p. 515-523, 2008.

CUNNINGHAM, E. Does inulin have the same health benefits as soluble dietary fiber? **Journal of the American Dietetic Association** p. 1588, 2010.

DAMODARAN, S., PARKIN, K.L., FENNEMA, O.R. **Química de Alimentos de Fennema**, 4 ed. Editora Artmed, 2010.

DELZENNE, N.; AERTSSENS, J.; VERPLAETSE, H.; ROCCARO, M.; ROBERFROID, M.; Effect of fermentable fructo-oligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rat. **Life Sciences**, v.57, p. 1579-1587, 1995.

DERRINGER, G.C., SUICH.R., Simultaneous optimization of several responses variables. **Journal of Quality Technology**, v.12, p. 214-219, 1980.

DESCHAMPS, S.S.; CHERYAN, M. Evaluation of vanillin assay for tanins analysis of dry beans. **Journal of Food Science**, v.50, n. 4, p. 905-910, 1985

DEWAR, D., PEREIRA, S.P., CICLITIRA, P.J. – The pathogenesis of coeliac disease, **International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 36, p. 17-24, 2004.

DICKO, M.H.; GRUPPEN, H.; TRAORÉ, A.S.; VORAGEN, A.G.J.; BERKEL, W.J.H. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v.5, n.5, p.384-395, 2006.

DUARTE, G., CARVALHO, C.W.P., ASCHERI, J.L.R. – Effect of soybean hull, screww speed ant temperature on expanded maize and extrudates**. Brazilian Journal of Food Technology**, v 12, n. 3, p. 205-212, 2009.

DYKES, L.; SEITZ, L.M.; ROONEY,W.L.; ROONEY, L.W. Flavonoid composition of red sorghum genotypes**. Food Chemistry**, v.116, n.1, p.313-317, 2009.

EMBRAPA. Grão em grão. **Embrapa Milho e Sorgo**, ano 7, edição 44, 2013. Disponível em: <http://grao.cnpms.embrapa.br/artigo.php?ed=MTQ=&id=MTM=>.

EMBRAPA. Hibrido de sorgo granífero, BRS310. Comunicado técnico. **Embrapa Milho e Sorgo**, 2014.

EMBRAPA[a]. Cultivo do sorgo. Mercado e comercialização. **Embrapa Milho e Sorgo** Sistema de Produção 2, 2008. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/clima.htm>

EMBRAPA[b]. Cultivo do sorgo. Mercado e comercialização. **Embrapa Milho e Sorgo** Sistema de Produção 2, 2008. Disponível em: < http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/mercado.htm >.

EVANGELISTA, J. Tecnologia de alimentos. São Paulo, editor Atheneu, 2003.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Quinoa International Year 2013, Disponível em <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/distribution-and-production/pt/>, acesso em 18/07/2014.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization United Nations**. 2011. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx p. 2010>. Acesso: 18 de maio de 2014..

FARINAZZI-MACHADO, F.M.V.; BARBALHO, S.M.; OSHIWA, M.; GOULART, R.; PESSAN JUNIOR, O. Use of cereal bars wih quinoa (*Chenopodium quinoa W.*) o reduce risk factors related to cardiovascular diseases. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, p. 239-244, 2012.

FRANÇA, S.C.A., COUTO, H.J.B. Análise microgranulométrica – Malvern e Sedigraph, comunicação técnica elaborada para o livro TRATAMENTO DE MINÉRIOS:PRÁTICAS LABORATORIAIS editora CETEM/MCT, cap 5, p 101, Rio de Janeiro, 2007.

FREITAS, D.G.C.; MORETTI, R.H. Caracterização e avaliação sensorial de barra de cereais funcional de alto teor proteico e vitamínico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 318-324, 2006.

GALDEANO, M.C. Investigação do uso de farinha de sorgo extrudada e não extrudada na produção de biscoito para celíacos – Projeto de pesquisa **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, 2012.

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

GIUGLIANO, D.; CERIELLO, A. The effects of diet on inflamation. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 48, p. 677-685, 2006.

GUERREIRO, L. Produtos extrusados para consumo humano, animal e industrial. Dosiê técnico. **REDETEC – Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro**, 2007.

GUERREIRO, L. Produtos Extrusados para Consumo Humano, Animal e Industrial. **REDETEC - Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro**, dossiê técnico, Rio de Janeiro, 2007.

HAULY, M.C.O.; MOSCATTO, J.A. Inulina e oligofrutoses: uma revisão sobre propriedades funcionais, efeito prebiótico e importância na indústria de alimentos. **Ciências exatas e tecnológica**, v. 23, p. 105-118, 2002.

HOUGH, G., WAKELING, I., MUCCI, A., CHAMBERS, E., GALLARDO, I.M., ALVES, R.L. Number of consumers necessaryfor sensory acceptability tests. **Food Quality and Preference**, n. 17, p. 522-526, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA **Produção Agrícola Municipal, culturas temporárias e permanentes**, v. 40, p. 1-102, 2013. Disponível em:
<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2013_v40_br.pdf>.
Acesso: 11/08/2015.

JAMES, L.E.A. Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.): composition, chemistry, nutritional and functional properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 58, p. 1-31, 2009.

KAGNOFF, M.F. Overview and pathogenesis of celiac disease. **Gastroenterology**, v. 128, n. 4, p 10-18, 2005.

KIM, E.H.J, CORRIGAN, V.K., HEDDERLEY, D.I., MOTOI, A.J.W, MORGENSTERN, M.P. Predicting the sensory texture of cereal snack bars using instrumental measurements. **Journal of Texture Studies**, v. 40**,** p. 457–481, 2009.

KUPPER, C. - Dietary Guidelines and Implementation for Celiac Disease, **Gastroenterology**, n 128, 121-127, 2005

LAEMMLI, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. **Nature**, v. 33, p. 680-685, 1970.

LAUS, M.N.; GAGLIARDI, A.; SOCCIO, M.; FLAGELLA, Z.; PASTORE, D.; Antioxidant activity of free and bound compounds in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.) seeds in comparison with durum wheat and emmer. **Journal of Food Science**, v. 77, p. 1150-1155, 2012.

LEE, A., NEWMAN, J.M. - Celiac diet – its impact on quality of life. **Journal of the american dietetic association**, v. 103, n. 11, p. 1533-1535, 2003.

LOBÃO, N. **Osteoporose e doença celíaca**. ACELBRA-Seção Rio de Janeiro, 2011.

MATOS, C.A.O. **Doença Celíaca**. Porto: Universidade do Porto. 2010. Artigo de revisão bibliográfica. Universidade do Porto.

MEILGAARD, M. CIVILLE, G.V., CARR, B.T. **Sensory evaluation techiniques**. BocaRaton: CRC Press, v. 2, 1991.

MENDONÇA, S., SALDIVA, P.H., CRUZ, R.J., ARÊAS, J.A.G. – Amaranth protein presents cholesterol-lowering effect, **Food Chemistry**, n. 116 p. 738-742, 2009.

MERTZ, E.T., HASSEN, M.M., CAIRNS-WHITTERN, C., KIRLEIS, A.W., TU, L., AXTELL, J.D., Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v.81, n.1, p.1–2, 1984.

MESA-STONESTREET, N. J.; ALAVI, S.; GWIRTZ, J. Extrusion-enzyme liquefaction as a method for producing sorghum protein concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 108, p. 365–375, 2012.

MEYER, D.; BAYARRI, S.; TÁRREGA, A.; COSTELL, E. Inulin as texture modifier in dairy products. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 1881-1890, 2011.

MEYER, D.; STASSE-WOLTHUIS, M. The bifidogenic effect of inulin and oligofrutose and its consequences for gut health. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 63, p. 1277-1289, 2009.

MORRIS, D. Essential nutrients and other functional compounds in flaxseed. **Nutrition today**, v. 36, 159-162, 2001.

MOURA, S.C.S.R.., HUBINGER, M.D., VITALI, A.A. Predição da atividade de água e relação entre a atividade de água e a depressão do ponto de congelamento de sucos de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 4, 1998.

MURRAY, M.G., THOMPSON, W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA, **Nucleic Acids Research**, n. 8, p. 4321-4325, 1980.

OHSAWA, K.; SATSU, H.; OHKI, K.; ENJOH, M.; TAKANO, T.; SHIMIZU, M. Producibility and digestibility of antihypertensive β-casein tripeptides, Val-Pro-Pro and Ili-Pro-Pro, in the gastrointestinal tract: Analyses using an in vitro model of mammalian gastrointestinal digestion. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**., v. 56, p. 854-858, 2008.

ONWULATA, C.I., KONSTANCE, R.P. Extruded corn meal and whey protein concentrate: effect of particle size. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 30, p. 475-487, 2006.

PERINI, J.A.L., STEVANATO, F.B., SARGI, S.C., VISENTAINER, J.E.L., DALALIO, M.M.O., MATSHUSHITA, M., SOUZA, N.E., VISENTAINER, J.V., Ácidos graxos poli-insaturados n-3 e n-6: metabolismo em mamíferos e resposta imune. **Revista de Nutrição**, v. 23, p. 1075-1086, Campinas, 2010

PEZZINO, R.H., MATOS, M., FERREIRA, A. Marcas próprias e barras de cereais: análise das estratégias das redes Pão de Açúcar e Carrefour. **Simpoi – Anais**, 2010.

QUEIROZ, V.A.V., VIZZOTO, M., CARVALHO, C.W.P., MARTINO, H.S.D., O sorgo na alimentação humana. **Embrapa Circular Técnica**. 1ª ed, 2009.

QUEIROZ, V.A.V.; MORAES, E.A.; SCHAFFERT, R.E.; MOREIRA, A.V.; RIBEIRO, S.M.R.; MARTINO, H.S.D. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) moench], para alimentação humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 180-195, 2011

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 9, p.1231–1237, 1999

ROCHA, G.O. **Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de misturas de amido de mandioca e extrato proteico de soja**. Seropédica: UFRRJ 2013. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RODRIGUES, C.S. Desenvolvimento de barras de cereais com ingredientes prebióticos e probióticos. Campinas:UNICAMP. 2013. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; SAMPAIO, C.G., JIMÉNEZ, J.P.; SAURA-CALIXTO, F.D. Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical ABTS +. **Comunicado Técnico** 128. (Embrapa Agroindústria Tropical), jul. 2007, Fortaleza. ISSN 1679-6535

SCHOENLECHNER, R.; SIEBENHANDL, S.; BERGHOFER, E. Pseudocereals. **Gluten-free cereal products and beverages** p. 149-190, 2008.

SILVA, M.C., ASCHERI, D.P.R., CARVALHO,C.W.P., GALDEANO, M.C., ANDRADE, C.T., Characterization of cassava starch processed in a internal mixer. **Polímeros**, v. 23, n. 6, p. 725-732, 2013.

SILVA. I. Q., OLIVEIRA, B.C.F., LOPES, A.S., PENA, R.S. Obtenção de barra de cereais adicionada do resíduo industrial de maracujá **Alimentos e Nutrição Araraquara** v. 20, n.2, p. 321-329, 2009.

SIMBALISTA, R.L.; FROTA, K.M.G.; SOARES, R.A.M., ARÊAS, J.A.G. Effect of storage and processing of brazilian flaxseed on lipid and lignin contents, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, p. 374-380, 2012.

SOLÓRZANO, J.W.V. **Obtenção e caracterização de farinha extrudada de diferentes genótipos de sorgo para o desenvolvimento de biscoitos doces**. Seropédica: UFRRJ. 2013. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

SOLÓRZANO, J.W.V. **Obtenção e caracterização de expandidos e farinha instantânea de sorgo no desenvolvimento de biscoitos doces**. Seropédica: UFRRJ. 2012. Projeto de Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

SOUZA, L.A.C., SPEHAR, C.R., SANTOS, R.L.B. Análise de imagem para determinação do teor de saponina em quinoa. **Pesq. agropec. bras**., v.39, n.4, p.397-401, abr. 2004

STOJCESKA, V., AINSWORTH, P., PLUNKETT, A., IBANOGLU, S. The advantage of using extrusion processing for increasing fibre dietary level in gluten-free project. **Food chemistry**, v. 121, p. 156-164, 2010.

STRANDAS, C.; KAMAL-EDIN, A.; ANDERSSON, R.; AMAN, P. Composition and properties of flaxseed phenolic oligomers. **Food Chemistry**, v. 110, p. 106-112, 2008.

THOMPSON,T., DENNIS, M., HIGGINS, L.A., LEE, A.R., SHARRET, M.K. Gluten-free diet survey: are Americans with celiac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain food. **Journal of human nutrition and dietetics**. v.18, p.163-169, 2005.

TSUNECHIRO, A.; MIURA, M. Relações de preço sorgo/milho nos Estados de São Paulo, Goiás e Rio Grande do Sul, 2001-2009. **Informações econômicas**, v.41, p 45-50, 2011.

VÁZQUEZ-ARAÚJO, L.; EDGAR CHAMBERS IV, E.; CHERDCHU, P. Consumer Input for developing human food products made with sorghum grain. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 10, p. 384–389, 2012

WANISKA, R.D.; ROONEY, L.W. Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. In: SMITH, C.W.; FREDERIKSEN, R.A. (Ed.) **Sorghum: origin, history, technology and production**. New York: Jonh Wiley and Sons. p. 649-688, 2000.

Anexo 1. Documento de aprovação por comitê de ética para realização de testes sensoriais.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Projeto: CAAE – 03591312.0.0000.5149

Interessado(a): Profa. Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia
Departamento de Alimentos
Faculdade de Farmácia - UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 17 de outubro de 2012, o projeto de pesquisa intitulado **"Desenvolvimento e análise sensorial de produtos à base de sorgo sem glúten"** bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

Profa. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG