



LEANDRA ZAFALON JAEKEL

“INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE FIBRAS (FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO E AMIDO RESISTENTE) E DE TRANSGLUTAMINASE NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS, ESTRUTURAIS E SENSORIAIS DE MASSAS ALIMENTÍCIAS”

CAMPINAS

2013



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

LEANDRA ZAFALON JAEKEL

“INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE FIBRAS (FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO E AMIDO RESISTENTE) E DE TRANSGLUTAMINASE NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS, ESTRUTURAIS E SENSORIAIS DE MASSAS ALIMENTÍCIAS”

Orientador: Prof. Dr. Yoon Kil Chang

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutora em Tecnologia de Alimentos.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELA ALUNA LEANDRA ZAFALON JAEKEL
E ORIENTADA PELA PROF.DR. YOON KIL CHANG**

Assinatura do Orientador

CAMPINAS

2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
MÁRCIA REGINA GARBELINI SEVILLANO – CRB8/3647- BIBLIOTECA DA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS – UNICAMP

J177i Jaekel, Leandra Zafalon.
Influência da adição de diferentes fontes de fibras (farinha de trigo de grão inteiro e amido resistente) e de transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias / Leandra Zafalon Jaekel. -- Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Yoon Kil Chang.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Massas alimentícias. 2. Farinha de trigo de grão inteiro. 3. Amido resistente. 4. Transglutaminase. 5. Fibras. I. Chang, Yoon Kil, 1952-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Influence of the addition of different sources of fibers (whole grain wheat flour and resistant starch) and transglutaminase on technological, structural and sensory characteristics of pasta

Palavras-chave em inglês:

Pasta
Whole grain wheat flour
Resistant starch
Transglutaminase
Fibers

Área de concentração: Tecnologia de Alimentos

Titulação: Doutora em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora:

Yoon Kil Chang [Orientador]
Caroline Joy Steel
Eveline Lopes Almeida
Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici
Rogério Germani

Data da defesa: 28-02-2013

Programa de Pós Graduação: Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Yoon Kil Chang
Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP
(orientador)

Prof^a. Dr^a. Caroline Joy Steel
Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP
(membro)

Dr^a. Eveline Almeida
Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP
(membro)

Prof^a. Dr^a. Gabriela Alves Macedo
Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP
(membro)

Dr. Jaime Amaya Farfan
Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP
(membro)

Dr^a. Elizabeth Harumi Nabeshima
Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL
(membro)

Prof^a. Dr^a. Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici
Universidade Federal de Alfenas -UNIFAL
(membro)

Dr. Rogério Germani
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
(membro)

Dedico esta conquista aos
meus pais Evandro Martin Jaekel e
Clarice Zafalon Jaekel (*in memoriam*),
e a minha irmã Lidiane Zafalon Jaekel.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar meu caminho todos os dias.

Ao meu pai Evandro e a minha mãe Clarice (*in memoriam*), pelo amor e apoio que sempre me deram e pelo exemplo de vida.

À minha querida irmã Lidiane e minha sobrinha Rafaela, pelo amor incondicional, essenciais e especiais na minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Yoon Kil Chang, pela orientação e pelos ensinamentos.

Ao meu amigo e colega de laboratório Marcio Schmiele, pela ajuda no processamento das massas alimentícias e em outras etapas do trabalho, pelo apoio, amizade generosa, estando sempre disposto a ajudar.

Aos colegas do laboratório, em especial, Alessandra, Eveline, Gabriela, Eliza, Simone, Patrícia e André, pelo companheirismo e pelos muitos momentos de descontração.

Aos estagiários, Deisi, Thiago, Edna e Mariane, pela ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às minhas amigas, Milene, Paula, Rita, Meg, Paulinha e Maria Fernanda, pela amizade e apoio nos momentos difíceis.

Aos membros da banca examinadora pelas sugestões e contribuições a este trabalho.

Aos fornecedores das matérias-primas: *Bunge*, Moinho Sul Mineiro, *National Starch* e *Ajinomoto*.

Ao Pastifício Selmi, pelo apoio e espaço cedido, em especial ao Davi, Divino e Romeu.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, pelo extrusor cedido, em especial ao Dr. Rogério Germani.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

À FAPESP, pelo auxílio financeiro a pesquisa (processo nº 2011/14531-2).

À UNICAMP, FEA e DTA pelo suporte institucional.

Ao Instituto Federal Farroupilha, pelo apoio.

Aos colegas da FEA e todas as pessoas que de alguma forma me apoiaram e contribuíram para a conclusão deste trabalho.

*".... Permita-se sair de si, encontre-se
em si, vista-se de emoções.... Sorria!!
Cubra-se de fantasias, viaje através dos
outros... Olhe nos olhos sempre... Ouça!!!
Esteja presente, presente seja, caminhe em
frente... Chore!! Alcance, não canse... Ame!!
Viva se preciso for, se não, impreciso
viva...."*

(Autor desconhecido)

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| RESUMO GERAL | xix |
| ABSTRACT | xxi |
| INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| | |
| CAPÍTULO 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 1 ALIMENTOS FUNCIONAIS..... | 5 |
| 1.1 Trigo | 7 |
| 1.1.1 Farinha de trigo de grão inteiro | 9 |
| 1.2 Amido resistente..... | 11 |
| 2 MASSAS ALIMENTÍCIAS..... | 15 |
| 2.1 Massas com fibras | 18 |
| 3 TRANSGLUTAMINASE..... | 21 |
| 3.1 Aplicação da transglutaminase em massas alimentícias | 24 |
| 3.1.1 Aplicação da transglutaminase em massas alimentícias com fibras | 26 |
| 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 28 |
| | |
| ARTIGO 1. Avaliação do efeito da adição de farinha de trigo de grão inteiro e da enzima transglutaminase nas características tecnológicas de massas alimentícias | 36 |
| Resumo | 36 |
| Abstract | 37 |
| 1 INTRODUÇÃO | 37 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 39 |
| 2.1 Matérias – primas..... | 39 |
| 2.2 Métodos..... | 39 |
| 2.2.1 Caracterização física e química das matérias-primas | 39 |
| 2.2.1.1 Composição centesimal | 39 |
| 2.2.1.2 Granulometria..... | 39 |
| 2.2.1.3 Cor..... | 39 |

| | |
|--|----|
| 2.2.1.4 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)..... | 40 |
| 2.2.2 Caracterização reológica das matérias-primas | 40 |
| 2.2.2.1 Farinografia | 40 |
| 2.2.2.2 Atividade diastásica..... | 40 |
| 2.2.2.3 Propriedades viscoamilográficas | 41 |
| 2.3 Formulações e processamento das massas alimentícias | 41 |
| 2.3.1 Planejamento experimental | 41 |
| 2.3.2 Sistema farinha de trigo, farinha de trigo de grão inteiro e transglutaminase..... | 42 |
| 2.3.3 Processamento das massas alimentícias..... | 42 |
| 2.4 Avaliação das massas alimentícias | 43 |
| 2.4.1 Cor..... | 43 |
| 2.4.2 Características de cozimento | 43 |
| 2.4.3 Características de textura..... | 44 |
| 2.4.4 Solubilidade de proteínas | 44 |
| 2.4.5 Fibra alimentar total..... | 45 |
| 2.5 Análise estatística | 45 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 45 |
| 3.1 Caracterização física e química das matérias-primas | 45 |
| 3.1.1 Composição centesimal | 45 |
| 3.1.2 Granulometria..... | 47 |
| 3.1.3 Cor..... | 48 |
| 3.1.4 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)..... | 48 |
| 3.2 Caracterização reológica das matérias-primas | 49 |
| 3.2.1 Farinografia | 49 |
| 3.2.2 Atividade diastásica..... | 50 |
| 3.2.3 Características viscoamilográficas | 51 |
| 3.3 Sistema farinha de trigo, farinha de trigo de grão inteiro e transglutaminase.. | 52 |
| 3.4 Avaliação das massas alimentícias | 54 |
| 3.4.1 Cor..... | 54 |
| 3.4.2 Características de cozimento | 56 |
| 3.4.3 Características de textura e solubilidade de proteínas..... | 58 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 3.4.4 Fibra alimentar total..... | 60 |
| 4 CONCLUSÕES | 60 |
| 5 AGRADECIMENTOS | 61 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 61 |

ARTIGO 2. Comportamento da transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de espaguetes enriquecidos com farinha de trigo de grão inteiro

| | |
|---|----|
| Resumo | 67 |
| Abstract | 68 |
| 1 INTRODUÇÃO | 69 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 71 |
| 2.1 Processamento dos espaguetes | 71 |
| 2.2 Avaliação dos espaguetes..... | 71 |
| 2.2.1 Cor..... | 71 |
| 2.2.2 Características de cozimento | 72 |
| 2.2.3 Características de textura..... | 72 |
| 2.2.4 Fibra alimentar total..... | 72 |
| 2.2.5 Índice glicêmico <i>in vitro</i> | 72 |
| 2.2.6 Solubilidade de proteínas | 73 |
| 2.2.7 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)..... | 73 |
| 2.2.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)..... | 74 |
| 2.2.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) | 74 |
| 2.2.10 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) | 75 |
| 2.2.11 Características sensoriais | 75 |
| 2.3 Análise estatística | 76 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 76 |
| 3.1 Avaliação dos espaguetes..... | 76 |
| 3.1.1 Cor..... | 76 |
| 3.1.2 Características de cozimento | 77 |
| 3.1.3 Características de textura..... | 79 |

| | |
|---|----|
| 3.1.4 Fibra alimentar total..... | 80 |
| 3.1.5 Índice glicêmico <i>in vitro</i> | 80 |
| 3.1.6 Solubilidade de proteínas..... | 82 |
| 3.1.7 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)..... | 83 |
| 3.1.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)..... | 85 |
| 3.1.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) | 86 |
| 3.1.10 Espectrometria de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) | 88 |
| 3.1.11 Avaliação sensorial..... | 89 |
| 4 CONCLUSÕES | 90 |
| 5 AGRADECIMENTOS | 91 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 91 |

ARTIGO 3. Estudo da influência da adição de amido resistente e de transglutaminase nas características tecnológicas de espaguete funcional 99

| | |
|---|-----|
| Resumo | 99 |
| Abstract | 100 |
| 1 INTRODUÇÃO | 100 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 102 |
| 2.1 Métodos..... | 102 |
| 2.1.1 Caracterização física e química das matérias-primas | 102 |
| 2.1.1.1 Composição centesimal | 102 |
| 2.1.1.2 Teor de amido resistente..... | 103 |
| 2.1.1.3 Granulometria..... | 103 |
| 2.1.1.4 Cor..... | 103 |
| 2.1.1.5 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)..... | 103 |
| 2.1.2 Caracterização reológica das matérias-primas | 104 |
| 2.1.2.1 Farinografia | 104 |
| 2.1.2.2 <i>Falling number</i> (número de queda) | 104 |
| 2.1.2.3 Propriedades viscoamilográficas | 104 |
| 2.2 Formulações e processo de obtenção dos espaguetes | 105 |
| 2.2.1. Planejamento experimental | 105 |

| | |
|---|-----|
| 2.2.2 Sistema farinha de trigo, amido resistente e transglutaminase | 106 |
| 2.2.3 Processamento dos espaguetes | 106 |
| 2.3. Avaliação da qualidade tecnológica dos espaguetes | 107 |
| 2.3.1 Cor..... | 107 |
| 2.3.2 Características de cozimento | 107 |
| 2.3.3. Características de textura..... | 107 |
| 2.3.4 Teor de amido resistente..... | 108 |
| 2.4 Solubilidade de proteínas | 108 |
| 2.5 Análise estatística | 108 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 109 |
| 3.1 Caracterização física e química das matérias-primas | 109 |
| 3.1.1 Composição centesimal | 109 |
| 3.1.2 Teor de amido resistente das matérias-primas | 110 |
| 3.1.3 Granulometria..... | 110 |
| 3.1.4 Cor..... | 111 |
| 3.1.5 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)..... | 111 |
| 3.2 Caracterização reológica da farinha de trigo | 112 |
| 3.2.1 Farinografia | 112 |
| 3.2.2 <i>Falling number</i> | 113 |
| 3.2.3 Características viscoamilográficas | 113 |
| 3.3 Sistema farinha de trigo, amido resistente e transglutaminase | 114 |
| 3.3.1 Farinografia | 114 |
| 3.4 Avaliação dos espaguetes..... | 116 |
| 3.4.3 Cor..... | 116 |
| 3.4.6 Características de cozimento | 118 |
| 3.4.7 Característica de textura e solubilidade de proteínas..... | 121 |
| 3.4.8 Amido resistente..... | 125 |
| 4 CONCLUSÕES | 126 |
| 5 AGRADECIMENTOS | 127 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 127 |

| | |
|--|-----|
| ARTIGO 4. Desempenho da enzima transglutaminase nas características de cozimento, estruturais e sensoriais de massas alimentícias contendo amido resistente | 133 |
| Resumo | 133 |
| Abstract | 134 |
| 1 INTRODUÇÃO | 134 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 137 |
| 2.1 Formulações e processamento das massas alimentícias | 137 |
| 2.2 Avaliação das massas alimentícias | 137 |
| 2.2.1 Cor..... | 137 |
| 2.2.2 Características de cozimento | 138 |
| 2.2.3 Características de textura..... | 138 |
| 2.2.4 Teor de amido resistente..... | 138 |
| 2.2.5 Índice glicêmico <i>in vitro</i> | 139 |
| 2.2.6 Solubilidade de proteínas..... | 139 |
| 2.2.7 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)..... | 140 |
| 2.2.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)..... | 140 |
| 2.2.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) | 141 |
| 2.2.10 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) ... | 141 |
| 2.2.11 Características sensoriais | 141 |
| 2.4 Análise estatística | 142 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 142 |
| 3.1 Avaliação das massas alimentícias..... | 142 |
| 3.1.1 Cor..... | 142 |
| 3.1.2 Características de cozimento | 143 |
| 3.1.3 Características de textura..... | 145 |
| 3.1.4 Teor de amido resistente..... | 146 |
| 3.1.5 Índice glicêmico <i>in vitro</i> | 147 |
| 3.1.6 Solubilidade de proteínas..... | 149 |
| 3.1.7 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)..... | 150 |
| 3.1.8 Calorimetria diferencial de varredura - DSC..... | 152 |

| | |
|---|------------|
| 3.1.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) | 153 |
| 3.1.10 Espectrometria de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) ... | 155 |
| 3.1.11 Avaliação sensorial..... | 156 |
| 4 CONCLUSÃO..... | 157 |
| 5 AGRADECIMENTOS | 158 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 158 |
| | |
| CONCLUSOES GERAIS | 165 |
| | |
| ANEXOS | 167 |
| ANEXO 1. Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) | 167 |
| ANEXO 2. Aprovação do projeto pelo Comitê de ética – página 1..... | 168 |
| ANEXO 3. Aprovação do projeto pelo Comitê de Ética – página 2 | 169 |
| ANEXO 4. Alteração do pesquisador responsável | 170 |
| ANEXO 5. Ficha utilizada na avaliação sensorial das massas alimentícias..... | 171 |

JAEKEL, L.Z. **Influência da adição de diferentes fontes de fibras (farinha de trigo de grão inteiro e amido resistente) e de transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias.** 2013, 171p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

RESUMO GERAL

O interesse dos consumidores por alimentos com características funcionais tem aumentado nos últimos anos. A farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) contém constituintes com efeitos benéficos a saúde (fibras, minerais, vitaminas, antioxidantes e aminoácidos). O amido resistente (AR) também tem sua contribuição à saúde, atuando como fibra alimentar. Massas alimentícias, cuja produção brasileira cresce a cada ano, constituem uma excelente forma de aplicação dessas matérias-primas. Contudo, a FTGI e o AR podem trazer prejuízos tecnológicos. A enzima transglutaminase (TG) mostra-se como alternativa a esse problema, pode atuar formando ligações cruzadas com a glutenina e a gliadina. O objetivo geral foi estudar o efeito de diferentes fontes de fibras (FTGI ou AR) e da transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias tipo espaguete. O estudo foi desenvolvido em quatro artigos: 1º) estudar a influência da adição de FTGI (51 a 100 %) e TG (0 a 0,5 %) nas características reológicas, de cozimento, textura e solubilidade de proteínas dos espaguetes, através de um delineamento composto central rotacional (DCCR); 2º) estudar o efeito da TG (0,5 %) nas características de cozimento e textura, estruturais e sensoriais de espaguetes adicionados de 58 % de FTGI; 3º) estudar o efeito da adição de AR (0 a 20 %) e TG (0,2 a 1,0 %) nas características (citadas no 1º artigo) dos espaguetes, através de um DCCR; 4º) estudar o efeito da TG (1,0 %) nas características (citadas no 2º artigo) de espaguetes adicionados de 14 % de AR. No 1º) observou-se que a adição de FTGI e TG foi estatisticamente significativa ($p < 0,10$) para o tempo de desenvolvimento da massa, índice de tolerância à mistura e cor (L^*). Os produtos constituem fontes de fibras, pois contêm mais de 3 % de fibra alimentar no produto pronto para o consumo (Portaria SVS/MS nº 27, 13/01/1998). No 2º) verificou-se que a TG aumentou ($p < 0,05$) a firmeza e a temperatura final de gelatinização; também observou-se seu efeito na estrutura do produto por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A avaliação sensorial mostrou que o produto adicionado ou não de TG não diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) do controle quanto à textura e sabor, e a aparência foi melhor. Nos testes de aceitação e intenção de compra, a média dos espaguetes foi 7 e 4, que correspondem a “gostei moderadamente” e “provavelmente compraria”, respectivamente. Além disso, as massas com adição de 58 % de FTGI são consideradas fonte de fibras e produtos e baixo índice glicêmico (aproximadamente 65 %). No 3º) AR e TG foram estatisticamente significativos ($p < 0,10$) para cor, tempo ótimo de cozimento, aumento de peso, elasticidade e o teor de AR. Alguns dos produtos desenvolvidos foram fontes de

fibra. No 4º TG aumentou significativamente ($p < 0,05$) a firmeza e elasticidade. A solubilidade proteica foi inferior no produto com TG para um tipo de solvente. O efeito da TG também foi observado através de MEV. Na avaliação sensorial, os espaguetes com ou sem TG não apresentaram diferença estatística para os parâmetros analisados através do teste de comparação múltipla, na aceitação e intenção de compra. A adição de 14 % de AR, além de caracterizar os produtos como fonte de fibras e de baixo índice glicêmico, possibilita a obtenção de produtos de qualidade tecnológica semelhante aos existentes no mercado.

Palavras-chave: massas alimentícias, farinha de trigo de grão inteiro, amido resistente, transglutaminase

JAEKEL, L.Z. **Influence of the addition of different sources of fibers (whole grain wheat flour and resistant starch) and transglutaminase on technological, structural and sensory characteristics of pasta.** 2013, 171p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

ABSTRACT

The consumer interest in foods with better nutritional and functional characteristics is increasing in recent years. Whole-grain wheat flour (WGWF) contains many constituents with beneficial health effects (fiber, minerals, vitamins, natural antioxidants and amino acids). The resistant starch (RS) also contributes to human health once it presents similar effect of dietary fiber. Pasta, whose Brazilian production is increasing every year, consists of an excellent way of applying these raw materials. However, WGWF and RS may produce harmful effects during production process, since these components dilute the proteins forming the gluten in the product. The transglutaminase enzyme (TG) can act by forming cross links with the glutenin and gliadin, showing up as an alternative to this problem. The general objective was to develop spaghetti and study the effect of different sources of fiber (WGWF or RS) and transglutaminase on the technological, structural and sensory characteristics of the pasta. The study was conducted in four articles: 1) the influence of adding WGWF and TG on texture, cooking characteristics and protein solubility of pasta using a randomized central composite design (RCCD), where the independent variables were WGWF (51 to 100%) and TG (0 to 0.5); 2) the effect of TG (0.5%) in texture, cooking, sensory and structural characteristics of pasta added 58% WGWF; 3) the effect of adding RS and TG on texture, cooking characteristics and protein solubility of pasta using a RCCD, where the independent variables were RS (0 to 20%) and TG (0.2 to 1.0); 4) the effect of TG (1.0%) on texture, cooking, structural and sensory characteristics of pasta containing 14% of RS. 1) The addition of TG and WGWF was statistically significant ($p < 0.10$) in the dough development time, mixing tolerance index and color (L^*). All formulations can be considered sources of fiber, since they contain more than 3% total dietary fiber. 2) We found that the addition of TG significantly increased ($p < 0.05$) firmness and final gelatinization temperature and this effect was also observed in scanning electron microscopy (SEM). The sensory evaluation based on the multiple comparison test showed that either pasta with TG addition or without the enzyme was not statistically different ($p < 0.05$) than control sample with respect to texture and flavor. The appearance of these products was considered better than the control sample and did not differ from each other. Regarding the acceptance test and purchase intention, the average scores were 7 and 4, which correspond to "like moderately" and "probably buy" respectively. In addition, pasta containing 58% WGWF is considered source of fiber and low glycemic index food (about 65%). 3) RS and TG influenced the product quality, being statistically significant ($p < 0.10$) for the color (L^* , a^* , b^* and ΔE) optimum cooking time, increase weight, elasticity and RS content. It is worth mentioning any of the pasta

developed in this study is source of dietary fiber. 4) We observed a significant effect ($p < 0.05$) of TG on the characteristics of texture (firmness and resilience), once the product with added TG showed higher values than the product without TG addition. A significant effect was also observed on protein solubility, which was lower in the product containing TG when using a mixture of solvent. The effect of TG was also observed in scanning electron microscopy. In sensory evaluation, pasta with TG added or without the enzyme showed no statistical difference for the parameters studied by multiple comparison test, acceptance test and purchase intention. Besides characterizing the products as a source of fiber and low glycemic index, adding 14% of RS allows for obtaining competitive high-quality products.

Keywords: pasta, whole grain wheat flour, resistant starch, transglutaminase

INTRODUÇÃO GERAL

Os benefícios de uma alimentação saudável estão cada vez mais evidentes. É essencial que os consumidores sejam informados dos méritos ou riscos associados aos hábitos alimentares. Uma grande quantidade de novos produtos que contribuem para melhoria da saúde tem sido constantemente apresentada pela indústria alimentícia.

Este novo enfoque dado aos alimentos benéficos à saúde caracteriza-os como funcionais, os quais são definidos, de acordo com a Portaria nº 398 de 30/04/99 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde no Brasil, como "todo alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica" (BRASIL, 2011).

A farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) contém, além das fibras, presentes na casca do grão do trigo, os demais componentes do grão, como antioxidantes, aminoácidos, vitaminas, minerais, entre outros. O consumo de produtos obtidos a partir de FTGI proporciona efeitos benéficos ao organismo comparados aos produtos que utilizam farinhas obtidas apenas da parte amilácea do grão (HIRAWAN et al., 2010). O consumo de produtos com adição de grãos inteiros está associado com a redução do risco de alguns tipos de doenças (cardiovasculares, obesidade, diabetes tipo 2 e câncer), e também, auxiliam na manutenção do peso corporal pelo baixo índice glicêmico (JACOBS et al., 1999; LIU et al., 1999; SLAVIN, 2004; HIRAWAN et al, 2010).

O amido resistente (AR), por estar incluído no conceito de fibra alimentar, também contribui com alguns efeitos fisiológicos ao organismo, como sua presumida influência no controle do metabolismo lipídico e da resposta glicêmica decorrente dos produtos de fermentação gerados do retardamento na absorção de nutrientes no trato digestivo (CHAMP; FAISANT, 1996; GARCIA-ALONSO et al., 1999; FREITAS, 2002; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005, MAKI et al., 2009). Além disso, contribui para o aumento da sensação de saciedade (ALSAFFAR,

2011) e atua como prebiótico. Não sendo digerido, passa ao cólon onde é usado como substrato para alguns micro-organismos gerando ácidos graxos de cadeia curta (acetato, butirato e propionato) e gases (metano e dióxido de carbono), além de proporcionar maior volume das fezes, as quais passam pelo intestino delgado, arrastando sais biliares e triglicerídeos, dificultando a absorção das gorduras, do colesterol e da glicose (WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005; MAKI et al., 2009; ALSAFFAR, 2011).

As massas alimentícias podem servir como “veículo” para essas matérias-primas (FTGI e AR) devido ao fácil e rápido preparo, baixo custo, longa vida de prateleira. Além disso, sua produção está aumentando nos últimos anos e o Brasil é o terceiro produtor mundial (ABIMA, 2012). O comportamento das massas alimentícias durante e após cozimento é o parâmetro de qualidade de maior importância para os consumidores desse produto em todo o mundo. Além do sabor e do aroma, o tempo de cozimento, a quantidade de água absorvida, firmeza, mastigabilidade, elasticidade, pegajosidade, e perda de sólidos solúveis também são parâmetros considerados importantes (KRUGER; MATSUO; DICK, 1998).

A adição de FTGI e AR pode interferir nos parâmetros de qualidade das massas alimentícias. Características como firmeza, perda de sólidos no cozimento e pegajosidade podem estar associadas com o conteúdo de proteína, força do glúten, composição do amido (BRENNAN; TUDORICĂ, 2007) e quantidade de fibra adicionada. A qualidade dos produtos com adição de fibras pode ser melhorada através do uso de aditivos e coadjuvantes. A exemplo desta última categoria, tem-se a enzima transglutaminase (TG).

A TG pode atuar de três maneiras: modificando as proteínas devido à incorporação de grupamento amina, ligação cruzada ou desamidação, sendo o tipo mais comum através da formação de ligações cruzadas entre resíduos de lisina e de glutamina, o que pode criar uma rede proteica estável, com formação de compostos de alto peso molecular (BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006; AALAMI; LEELAVATHI, 2008; BELLIDO; HATCHER, 2011; WANG et al., 2011).

Falta informação disponível sobre os efeitos da enzima transglutaminase em produtos adicionados de farinha de trigo de grão inteiro ou amido resistente. A maioria das pesquisas está relacionada com diferentes tipos de cultivares de trigo e com a adição de farelo de trigo aos produtos. Visando diminuir esta carência, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da adição de FTGI ou AR e da transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias, tipo espaguete.

CAPÍTULO 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 ALIMENTOS FUNCIONAIS

A busca por alimentos com melhores características nutricionais e funcionais tem crescido nos últimos anos. A maior conscientização, por parte dos consumidores, da relação entre uma dieta nutritiva, saúde e bem-estar foi uma das razões para o aumento na popularidade de alimentos com propriedades funcionais (FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010). A dieta relaciona-se com o bem-estar dos indivíduos, podendo contribuir para a redução do risco de ocorrência de algumas doenças, seja por nutrientes essenciais adicionados aos alimentos ou por componentes biologicamente ativos (PIMENTEL; FRANCKI; GOLLÜCKE, 2005). Dentre as patologias mais estudadas destacam-se a prevenção de doenças cardiovasculares, controle do colesterol sérico, prevenção de câncer, osteoporose e diabetes, e amenização dos sintomas da pós-menopausa (MESSINA; MESSINA; SETCXHELL, 1994; PARK; KOO; CARVALHO, 1997; SGARBIERI; PACHECO, 1999; PIMENTEL; FRANCKI; GOLLÜCKE, 2005; FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010).

O avanço dos conhecimentos mostrando a relação entre dieta e saúde/doença, os custos da saúde pública e os interesses econômicos da indústria têm gerado novos produtos cujas funções pretendem ir além do conhecido papel nutricional e sensorial dos alimentos. Com isso, uma grande quantidade de novos produtos que, efetiva ou supostamente, contribuem para a melhoria da saúde tem sido apresentada pela indústria alimentícia com maior frequência.

Este novo enfoque dado aos alimentos caracteriza-os como funcionais. O termo “alimentos funcionais” foi inicialmente proposto no Japão, na década de 80, principalmente em função de uma população crescente de idosos e da preocupação, tanto da população em geral como do governo, com a prevenção das doenças crônicas e degenerativas (SGARBIERI; PACHECO, 1999). O Japão regulamentou a categoria desses alimentos, os quais receberam a denominação de *Foods for Specified Health Use* (FOSHU). Nos Estados Unidos, esses

alimentos são regulamentados e definidos pela *Food and Drug Administration* (FDA, 2011) e, no Brasil, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) do Ministério da Saúde do Brasil, de acordo com a Resolução n° 18/1999, RDC n° 02/02 (BRASIL, 2011).

Os alimentos funcionais são definidos de forma abrangente como qualquer alimento, natural ou preparado, que contenha uma ou mais substâncias classificadas como nutrientes ou não nutrientes, capazes de atuarem no metabolismo e na fisiologia humana, promovendo efeitos benéficos à saúde, podendo retardar processos patológicos que conduzem a doenças crônicas e/ou degenerativas, melhorando a qualidade e a expectativa de vida das pessoas (SGARBIERI; PACHECO, 1999). Assim, a Portaria n° 398 de 30/04/99 da ANVISA fornece a definição legal de alimento funcional: "todo aquele alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica" (BRASIL, 2011a).

Entretanto, o consumidor é a peça chave no cenário da aceitação de alimentos funcionais. É ele que adquire o produto, que determina se esta classe de alimentos irá se estabelecer ou não. Assim, as indústrias de alimentos, órgãos governamentais e associações de consumidores, devem exercer adequadamente seus papéis de difusores de informações, promotores de mudanças de hábitos e, especificamente os envolvidos no desenvolvimento de novos produtos, para disponibilizarem alimentos sensorialmente interessantes (MORAES, 2007).

As pesquisas em alimentos funcionais estão voltadas para a identificação de compostos bioativos que conferem funcionalidade aos alimentos, destacando-se grãos de leguminosas e cereais, frutas e hortaliças, leites e peixes (SGARBIERI; PACHECO, 1999; FAGUNDES; COSTA, 2003; PIMENTEL; FRANCKI; GOLLÜCKE, 2005).

No Brasil, os compostos com alegação de propriedades funcionais presentes no mercado, devidamente registrados pelo órgão competente, incluem ácidos graxos, carotenóides, fibras alimentares, fitoesteróis, polióis, probióticos e

proteína de soja (BRASIL, 2011b). Tais substâncias encontram-se em várias matérias-primas, que embora tenham elevada disponibilidade no país, ainda não são amplamente utilizadas em função da alegação de funcionalidade, a exemplo do uso de farinha de trigo de grão inteiro.

1.1 Trigo

Entre os grãos alimentícios, o trigo é um cereal que apresenta uma grande importância para a economia do Brasil, devido ao elevado consumo de seus derivados, principalmente pão, massas alimentícias e bolos. De acordo com a CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011), a produção nacional do trigo em 2011, safra 2011/12, está prevista em 5.429,6 mil toneladas, 7,7 % menor do que foi colhido na safra anterior, quando a produção alcançou 5.881,6 mil toneladas. Este número pode variar conforme as condições climáticas que ocorrerem durante o ciclo da cultura. Na Tabela 1 encontram-se dados de produção, importação e consumo de trigo no Brasil nos últimos sete anos.

Tabela 1. Produção, importação e consumo nacional de trigo e produção mundial

| Safra | Produção (em mil toneladas) | Importação (em mil toneladas) | Consumo (em mil toneladas) |
|---------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 2005/06 | 4.873,1 | 5.844,2 | 10.231,0 |
| 2006/07 | 2.233,7 | 7.164,1 | 10.112,0 |
| 2007/08 | 4.097,1 | 5.926,4 | 9.719,0 |
| 2008/09 | 5.884,0 | 5.676,4 | 9.398,0 |
| 2009/10 | 5.026,2 | 5.922,2 | 9.714,2 |
| 2010/11 | 5.881,6 | 5.907,4 | 10.465,0 |
| 2011/12 | 5.429,6 | 5.900,0 | 10.558,0 |

Fonte: CONAB – Levantamento: Nov/2011.

O trigo é constituído principalmente por carboidratos (65-75 % de amido e fibras) e proteínas (7-12 %), mas também contém lipídios (2-6 %), água (12-14 %) e micronutrientes (POMERANZ, 1988). É fonte de minerais (especialmente magnésio), vitaminas do complexo B e E e compostos antioxidantes (ácidos fenólicos e carotenóides) (SLAVIN, 2003).

O grão de trigo é composto por três partes anatômicas principais: endosperma, farelo e gérmen. O endosperma constitui aproximadamente 83 % do

grão de trigo e contém a maior parte das proteínas, carboidratos, e algumas vitaminas do complexo B, tais como riboflavina, niacina e tiamina (HOSENEY, 1998; MARQUART et al., 2002). O farelo é a porção mais externa do grão e corresponde a aproximadamente 14,5 % do grão. Contém uma pequena quantidade de proteínas, grande quantidade de vitaminas do complexo B, minerais e fibras alimentares, tais como celulose, hemicelulose, ligninas e substâncias pécticas (MARQUART et al. 2002; HOSENEY, 1998; COSTABILE, 2008). O gérmen constitui aproximadamente 2,5 % do grão de trigo, é o embrião da semente, usualmente separado das demais partes anatômicas devido à quantidade de gordura, a qual interfere na qualidade de conservação da farinha de trigo. Dos nutrientes no grão de trigo inteiro, o gérmen contém proteínas, vitaminas do complexo B e E, lipídios e alguns minerais. Além de ser uma fonte altamente concentrada de nutrientes, é uma das mais ricas fontes de tocoferóis (HOSENEY, 1998; MARQUART et al. 2002).

O grão de trigo contém também uma fina camada de aleurona, a qual envolve completamente o endosperma amiláceo e o gérmen e representa aproximadamente 7 % da massa seca do grão de trigo. Essa camada contém a maior parte das vitaminas do complexo B e metade do conteúdo mineral presente no grão de trigo (HOSENEY, 1998). Comparada com as outras camadas externas, a camada de aleurona também contém um alto conteúdo de proteína, com o melhor balanço de aminoácidos, particularmente maiores níveis de lisina, em relação às proteínas do endosperma. A camada de aleurona também contém a maioria das lignanas, que são polifenóis cujos metabólitos agem como antioxidantes, exibem atividades anti-tumorais e agem como reguladores dos efeitos de estrógenos (MARQUART et al., 2002).

Todos esses nutrientes que têm efeito de proteção contra algumas doenças são reduzidos pelo processo de refinamento dos grãos: ácido linolênico, fibra alimentar, tocoferóis, polifenóis, folatos, selênio e vitamina E (ADOM; LIU, 2002). Desta forma, destaca-se a importância do consumo de alimentos contendo farinha de trigo de grão inteiro.

1.1.1 Farinha de trigo de grão inteiro

Segundo a FDA (*Food and Drug Administration*), para um alimento ser considerado produto de grão inteiro, e utilizar alegação no rótulo (*whole grain*), deve conter 51% ou mais de grão inteiro por porção (FDA, 2011). Porém, no processo tradicional de moagem de trigo para a produção de farinha, em moinho de rolos, o farelo e o gérmen são separados do endosperma, reduzindo significativamente a presença de alguns nutrientes do grão na farinha, que pode conter 50% menos vitaminas e minerais que a farinha de trigo de grão inteiro (FRANZ; SAMPSON, 2006).

No Brasil, existe a Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998, que estabelece que produtos prontos para o consumo com teor de fibra alimentar maior que 3 % são considerados fonte de fibra e produtos com teor superior a 6 % são caracterizados com alto teor de fibra (BRASIL, 2011c).

Considerando que a maioria dos componentes promotores de saúde presente nos grãos (fibras, minerais, vitaminas, antioxidantes naturais e aminoácidos) está presente no farelo e no gérmen, o consumo de produtos obtidos a partir de farinha de trigo de grão inteiro tem evidentes efeitos à saúde comparados aos produtos que utilizam farinhas com apenas a parte mais interna do grão. O percentual desses constituintes pode ser até 75 % maior em grão inteiro quando comparado aos cereais refinados (HIRAWAN et al., 2010).

Estudos indicam que o consumo de alimentos de grãos inteiros está associado com a redução do risco de doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, obesidade e câncer, além de ajudar a manter o peso corporal pelo baixo índice glicêmico (JACOBS et al., 1999; LIU et al., 1999; SLAVIN, 2004; HIRAWAN et al., 2010). Thompson (1994) também sugere que lignanas e fitoestrógenos, encontrados principalmente nas camadas mais externas dos grãos, podem reduzir o risco de doenças relacionadas a hormônios, tais como câncer de próstata e de mama (SLAVIN, 2004; HIRAWAN et al., 2010).

Entretanto, pequena atenção tem sido dada ao consumo de grãos, quando comparados às frutas e aos vegetais, embora os grãos e produtos derivados de

grãos estejam na base da pirâmide nutricional, enfatizando sua importância para a saúde (ADOM; LIU, 2002).

Grãos inteiros ou seus derivados consistem do grão intacto, moído, quebrado ou laminado, cujos principais componentes anatômicos – endosperma amiláceo, gérmen e farelo – estão presentes substancialmente nas mesmas proporções que eles existem no grão intacto (JACOBS et al., 1999; COSTABILE et al., 2008).

Entretanto, a compreensão dos níveis ótimos de consumo de grãos inteiros, tanto quanto os mecanismos pelos quais esses alimentos exercem seus efeitos favoráveis ainda não estão bem compreendidos. O *Dietary Guidelines for Americans* recomenda o consumo de três porções de alimentos de grãos inteiros diariamente (HHS/ USDA, 2010).

Grãos inteiros são ricos em carboidratos fermentáveis tais como fibras alimentares, amido resistente e oligossacarídeos, apresentando um efeito protetor devido ao impacto causado na microbiota intestinal (SLAVIN, 2003). Pesquisas recentes reconhecem que os efeitos benéficos dos grãos inteiros não são atribuídos somente às fibras, mas também a outros compostos biologicamente ativos, principalmente aos antioxidantes, e aos efeitos sinérgicos das fibras e dos micronutrientes encontrados nos alimentos de grãos inteiros. A capacidade antioxidante de produtos de grão inteiro é relativamente alta, sendo semelhante, e muitas vezes superior, ao de frutas ou de vegetais (COSTABILE et al., 2008; HIRAWAN et al., 2010).

Os fitoquímicos combatem o *stress* oxidativo no organismo, ajudando a manter o balanço entre oxidantes e antioxidantes. Um desbalanço causado pela superprodução de oxidantes leva ao *stress* oxidativo, resultando em danos às biomoléculas, tais como lipídios, DNA e proteínas. Esses danos oxidativos aumentam o risco de doenças degenerativas tais como câncer e doenças cardiovasculares. Os antioxidantes reduzem os danos oxidativos das biomoléculas por “modularem” os efeitos dos oxidantes. Por essa razão, é recomendável o aumento do consumo de grãos, assim como de frutas e vegetais (ADOM; LIU, 2002).

Além de compostos fenólicos e carotenóides, outros antioxidantes, incluindo o ácido fítico, vitamina E e selênio também estão presentes em quantidades significativas nos grãos. A vitamina E evita os danos oxidativos aos ácidos graxos poliinsaturados na membrana da célula. O selênio atua como um cofator da glutathione peroxidase, uma enzima que atua contra reações oxidativas, e reduz a proliferação excessiva de células (SLAVIN, 2003; HIRAWAN et al., 2010).

Cada planta contém diferentes composições de fitoquímicos, exercendo diferentes funções protetoras e em diferentes extensões. Os grãos contêm fitoquímicos únicos que complementam aqueles encontrados em frutas e vegetais, quando consumidos juntos. Por exemplo, as várias classes de compostos fenólicos nos grãos incluem derivados de ácido benzóico, antocianidinas, quinonas, flavonóis, chalconas, flavonas, flavononas, compostos amino fenólicos, tocotrienóis e tocoferóis (THOMPSON, 1994; SHAHIDI; NACZK, 1995; ADOM; LIU, 2002).

1.2 Amido resistente

O amido é o polissacarídeo de reserva mais abundante nos vegetais, e ocorre como grânulos no cloroplasto de folhas verdes e amiloplasto de sementes, leguminosas, cereais, raízes e tubérculos (HARALAMPU, 2000; SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007). Pode ser classificado, de acordo com a extensão de sua digestibilidade, em amido digerível e amido resistente (AR) (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006; ALSAFFAR, 2011).

O amido digerível inclui aquele que é digerível pelas enzimas do sistema digestivo, podendo ser classificado como amido rapidamente digerível (ARD) ou amido lentamente digerível (ALD). O primeiro consiste, principalmente, de grânulos de amidos amorfos e dispersos, encontrados em grandes quantidades em alimentos cozidos por calor úmido, tais como pães e batatas. Da mesma forma, os ALD são completamente digeridos no intestino delgado, porém mais lentamente. Essa categoria consiste em amidos amorfos fisicamente inacessíveis e amido cru com uma estrutura cristalina tipo A e tipo C, tais como amidos de cereais, e tipo B na forma de grânulos ou retrogradada em alimentos cozidos

(SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). Em uma recente classificação fisiológica, as frações ARD e ALD são agrupadas como "glicêmicas" ou carboidratos "disponíveis", enquanto que o AR é considerado como um carboidrato "não-glicêmico" (ALSAFFAR, 2011).

O AR é a fração de amido que não fornece glicose ao organismo, resiste à digestão enzimática no intestino delgado. Está incluído no conceito de fibra alimentar. Assim, alguns efeitos fisiológicos podem ser associados ao seu consumo. Vários pesquisadores têm definido o AR, em termos fisiológicos, como "a soma do amido e dos produtos da sua degradação que não são digeridos e absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis" (CHAMP; FAISANT, 1996; GOÑI et al., 1996; THOMPSON, 2000; SALGADO et al., 2005; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005; ALSAFFAR, 2011).

O AR é dividido em cinco tipos, cuja classificação depende da estrutura física e da susceptibilidade à hidrólise enzimática (SALGADO, 2005; JIANG, 2010). Desta forma, os diferentes tipos variam em função da forma como se apresentam nas diferentes fontes, das condições de processamento (gelatinização, retrogradação e modificações químicas) e da complexação com outras substâncias (THOMPSON, 2000; SALGADO et al., 2005).

O amido resistente tipo 1 (AR1) representa o grânulo de amido fisicamente inacessível na matriz do alimento, fundamentalmente por causa das paredes celulares e proteínas. Está presente em grãos ou sementes parcialmente moídos e em alguns tipos muito densos de produtos amiláceos processados (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007; SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006). O cozimento e processamento dos alimentos podem desintegrar a parede celular e gelatinizar o amido, o que pode tornar o amido mais disponível para as enzimas (GRAY, 2006; FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010).

O amido resistente tipo 2 (AR2) consiste nos grânulos de amido nativo, encontrados no interior da célula vegetal, que são altamente resistentes à digestão enzimática devido à forma compacta e estrutura parcialmente cristalina. Está presente especialmente na batata crua e na banana verde. Ao contrário da banana verde, a batata sempre é consumida depois de cozida e quase todos os

processos de cozimento promovem a gelatinização do amido, tornando-o digerível (ENGLYST et al. 1992; GRAY, 2006). Portanto, a banana verde é um produto natural com o maior teor de AR (FAISANT et al., 1995). No entanto, a quantidade de AR2 na banana depende de seu grau de maturação. Outra categoria de AR2 é constituída pelos amidos ricos em amilose, como o amido de alguns tipos de milho, fonte frequente de AR industrial (GRAY, 2006; ALSAFFAR, 2011).

O amido resistente tipo 3 (AR3) refere-se aos polímeros de amido retrogradado, especialmente de amilose, produzidos quando o amido é resfriado após a gelatinização, formando-se uma estrutura parcialmente cristalina, sendo insolúvel e resistente à digestão enzimática. Encontra-se em pães, batatas cozidas e resfriadas e cereais matinais (COLONNA et al., 1992; ENGLYST et al., 1992; HARALAMPU, 2000; SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006; SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007; ALSAFFAR, 2011).

O amido resistente do tipo 4 (AR4) é o amido que apresenta sua estrutura química modificada quimicamente, incluindo amidos substituídos quimicamente com grupamentos éteres, ésteres e fosfatos, bem como amidos com ligações cruzadas, sendo estes também resistentes à digestão no intestino delgado (CHAMP; FAISANT, 1996; GRAY, 2006; SAJILATA, SINGHAL; KULKARNI, 2006).

O amido resistente do tipo 5 é formado pelo complexo de amilose-lípido, apresenta uma alta temperatura de dissociação e limita o inchamento dos grânulos, é estável durante processamento dos alimentos. O complexo amilose-lípido é resistente à hidrólise enzimática (JIANG, 2010).

Dentre os quatro tipos de AR, um tipo particular de AR2, encontrado no milho com alto teor de amilose, é único, pois mantém sua estrutura e resistência, mesmo durante o processamento e preparação de muitos alimentos (NUGENT, 2005).

O conteúdo de AR é bastante variável, depende da quantidade de amilose e amilopectina do grânulo, sendo diretamente proporcional ao teor de amilose linear presente no amido, às características físico-químicas do grânulo, bem como aos processos térmicos e às condições de estocagem aos quais foram submetidos (GOÑI et al., 1996; NAMRATHA; ASNA; PRASAD, 2002; SALGADO et al., 2008).

O recente reconhecimento da incompleta digestão e absorção do amido no intestino delgado como um fenômeno normal, aumentou o interesse nas frações não digeríveis do amido. Alguns estudos têm indicado que o AR apresenta funções fisiológicas similares às das fibras, podendo ser classificado como um componente destas (HARALAMPU, 2000; SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007).

O AR vem sendo cada vez mais investigado em função da sua presumida influência no controle do metabolismo lipídico e da resposta glicêmica decorrente dos produtos de fermentação gerados e do retardamento na absorção de nutrientes no trato digestivo (CHAMP; FAISANT, 1996; GARCIA-ALONSO et al., 1999; FREITAS, 2002; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005). Além da ação em colesterolemia, glicemia e níveis de insulina sérica pós-prandiais, apresenta outros efeitos fisiológicos, como a alteração no trânsito gastrointestinal e o aumento da sensação de saciedade (ALSAFFAR, 2011).

O AR, assim como as fibras, apresenta efeitos benéficos na prevenção de doenças degenerativas associadas ao metabolismo intestinal. Tem ação como prebiótico, pois não sendo digerido passa ao cólon onde serve como substrato para micro-organismos interessantes do ponto de vista do equilíbrio microbiano intestinal, além de proporcionar maior volume de fezes que, ao passarem pelo intestino delgado, captam sais biliares e triglicerídeos, dificultando a absorção das gorduras, do colesterol e da glicose (WALTER; SILVA; SAJILATA, SINGHAL; KULKARNI, 2006; EMANUELLI, 2005; ALSAFFAR, 2011).

Esta fração de amido não é absorvida pelo intestino delgado, conseqüentemente, diminui a quantidade de glicose disponível. Parte desta perda pode ser recuperada no cólon, onde é utilizada como substrato de fermentação por diversas bactérias intestinais, especialmente as anaeróbias estritas, como as bifidobactérias. Esta fermentação resulta, principalmente, na produção de gases (CO_2 , H_2 e CH_4) e ácidos graxos de cadeia curta (acético, propiônico e butírico) (CHAMP; FAISANT, 1996; THOMPSON, 2000; SALGADO, et al., 2005; MAKI et al., 2009; ALSAFFAR, 2011). O butirato é o principal substrato energético para as células epiteliais do intestino grosso e inibe transformações malignas de tais células *in vitro*, tornando as frações de AR facilmente fermentáveis de grande

interesse na prevenção do câncer de cólon (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006).

Alimentos contendo AR retardam a taxa de digestão, reduzindo a concentração de glicose e insulina no sangue no período pós-prandial, podendo representar um importante papel no controle metabólico da diabetes tipo II (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006).

Segundo Baghurst et al. (2001) *apud* Sajilata, Singhal e Kulkarni (2006), o consumo de aproximadamente 20g de AR por dia é o recomendado para obter os efeitos benéficos à saúde. Entretanto, a ingestão de AR no mundo varia consideravelmente.

O AR quando comparado às fontes de fibras tradicionais, tais como grãos inteiros, farelos e frutas, apresenta algumas vantagens em relação às propriedades sensoriais e tecnológicas, devido a sua cor branca, sabor suave, partículas pequenas (o que causa uma menor interferência na textura) e menor capacidade de retenção de água que as fibras tradicionais, o que resulta em produtos mais aceitos pelos consumidores (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007; BAIXAULI et al., 2008). Muitos pesquisadores têm utilizado diferentes amidos resistentes para melhorar o valor nutricional e funcional de vários alimentos, como em massas alimentícias (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007; HERNÁNDEZ-NAVA et al., 2009; OVANDO-MARTINEZ et al., 2009; VERNAZA et al., 2012).

Os amidos resistentes também apresentam propriedades físico-químicas desejáveis, tais como, inchamento, aumento da viscosidade, formação de gel e capacidade de se ligar à água, o que os torna úteis em uma variedade de alimentos. Além disso, apresentam uma alta temperatura de gelatinização e boa qualidade de extrusão e de formação de filmes (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006).

2 MASSAS ALIMENTÍCIAS

Massas alimentícias são os produtos obtidos da farinha de trigo (*Triticum aestivum* L. e/ou outras espécies do gênero *Triticum*) e/ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e/ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e

ou tubérculos, resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação. As massas alimentícias podem ser adicionadas de outros ingredientes, acompanhadas de complementos isolados ou misturados à massa, desde que não descaracterizem o produto. Os produtos podem ser apresentados secos, frescos, pré-cozidos, instantâneos ou prontos para o consumo, em diferentes formatos e recheios (BRASIL, 2011d).

Massas alimentícias, tais como espaguete, são alimentos populares com bom perfil nutricional, fonte de carboidratos complexos e fonte moderada de proteínas e vitaminas do complexo B. O espaguete é tradicionalmente fabricado pela mistura de farinha de trigo e água formando uma mistura homogênea. Esta mistura é extrusada, adquirindo a forma desejada à temperatura ambiente, sob pressão atmosférica ou sob vácuo e, posteriormente, são secas (HERNÁNDEZ-NAVA et al., 2009).

No Brasil, o trigo *durum* não é cultivado; portanto, o trigo *Triticum aestivum* é a matéria-prima mais comumente empregada para a produção de massas alimentícias, correspondendo a aproximadamente 85% da produção nacional das massas. As massas preparadas a partir de farinha de trigo refinada não apresentam as características de qualidade das massas preparadas com trigo *durum*, portanto é necessário fazer algumas adaptações na formulação de massas preparadas com trigo comum (CHANG; FLORES, 2004).

A produção brasileira de massas alimentícias vem aumentando a cada ano. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias - ABIMA (ABIMA, 2012), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de massas alimentícias, com um volume total de 1,3 milhões de toneladas anuais, ficando atrás apenas da Itália e dos Estados Unidos, com produções de 3,2 e 2,5 milhões de toneladas anuais, respectivamente. O consumo per capita de massa alimentícia no Brasil foi de 6,4 quilos em 2010.

As massas alimentícias são o segundo produto derivado do trigo mais consumido no mundo, ficando atrás apenas do pão. Sua popularidade é devido ao baixo custo, facilidade e rapidez de preparo, diversidade de formatos, tamanhos e

sabores, qualidades nutricionais, atributos sensoriais e longa vida de prateleira (BRENNAN et al., 2004; AALAMI; LEELAVATHI, 2008).

O comportamento das massas alimentícias durante e após cozimento é o parâmetro de qualidade de maior importância para os consumidores desse produto em todo o mundo. Além do sabor e do aroma, estão incluídos nestes parâmetros o tempo de cozimento, a quantidade de água absorvida, as propriedades reológicas da massa (firmeza, mastigabilidade e elasticidade) e as características da superfície (pegajosidade, desintegração e perda de sólidos solúveis) (KRUGER; MATSUO; DICK, 1998).

A firmeza representa o grau de resistência à primeira mordida e é sensorialmente definida como a força necessária para penetrar na massa com os dentes. A coesividade é definida como a força das ligações internas segurando a estrutura da massa. O termo oposto, compressibilidade, também é utilizado. Elasticidade representa a capacidade de uma massa deformada retornar à sua condição inicial quando a força aplicada é removida. Adesividade ou pegajosidade pode ser definida como a força com a qual a superfície da massa cozida adere aos outros materiais como, por exemplo, língua, dentes, palato, dedos (KRUGER; MATSUO; DICK, 1998).

Alguns parâmetros secundários também podem ser úteis para caracterizar a textura das massas cozidas. A mastigabilidade pode ser definida como o tempo requerido para mastigar uma amostra a uma taxa de uma mastigada por segundo para reduzi-la a uma consistência adequada para engolir. Este parâmetro está relacionado com firmeza, coesividade e elasticidade (KRUGER; MATSUO; DICK, 1998).

Segundo Miskelly (1993), a firmeza e a ausência de pegajosidade após o cozimento, bem como a cor e a resistência durante a mastigação são os parâmetros de qualidade mais importantes.

Os principais critérios para avaliar a qualidade global da massa alimentícia cozida são baseados na análise de textura, pois são muito importantes para os consumidores, sendo o fator que dita a aceitabilidade do produto. Os consumidores têm mostrado uma preferência por massas que mantêm as

características de textura não apenas com o tempo de cozimento normal, mas também no super cozimento, apresentando alto grau de firmeza e elasticidade, o que é denominado *al dente* (TUDORICĂ; KURI; BRENNAN, 2002; SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007). Além desses fatores, a avaliação da qualidade da massa também leva em consideração a pegajosidade da superfície, tolerância ao cozimento, absorção de água e perda de sólidos na água de cozimento (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007).

2.1 Massas com fibras

Embora as massas alimentícias apresentem baixo conteúdo de gordura e boas fontes de carboidratos complexos, elas não são usualmente boas fontes de fibra alimentar. As massas são reconhecidas pelo baixo índice glicêmico, mas a incorporação de fibras solúveis tem mostrado reduzir ainda mais a resposta glicêmica.

Brennan e Tudorică (2007) estudaram a qualidade de massa fresca quando enriquecida com diferentes polissacarídeos não amiláceos (inulina, goma guar, fibra de ervilha, goma xantana e β -glucana) em diferentes concentrações (2,5, 5, 7,5 e 10 %) e verificaram que todos os parâmetros de textura dos produtos foram significativamente afetados pelo tipo de polissacarídeo não amiláceos e pelo nível utilizado. A firmeza do produto cozido geralmente reduziu com o aumento dos níveis de polissacarídeos não amiláceos na formulação, indicando estruturas mais fracas, possivelmente devido à interferência desses polissacarídeos na matriz do glúten. Entretanto, níveis mais baixos de adição (2,5 %) não produziram diferença significativa na firmeza quando comparados com o padrão. Resultados similares foram encontrados para pegajosidade.

Além disso, estes autores verificaram que, embora não tenha sido observada diferença significativa entre as amostras, pôde-se observar que os maiores percentuais de sólidos na água de cozimento foram encontrados em massas contendo β -glucana e fibra de ervilha e os menores valores foram encontrados para goma xantana e goma guar. Segundo os autores, maiores conteúdos de umidade e índice de absorção associados com maiores níveis de

polissacarídeos não amiláceos na formulação resultaram em menores valores de firmeza do produto final. O maior índice de absorção da massa alimentícia obtido com o aumento dos níveis de fibra já era esperado, considerando sua capacidade de absorção de água.

Em estudo com massas alimentícias enriquecidas com inulina, Tudoricã, Kuri e Brennan (2004) também observaram que as características de textura da massa podem ser afetadas pelo tipo e nível de inclusão de fibra. Em geral, os valores de firmeza das massas contendo fibra não diferiram significativamente do controle, porém, a tendência geral observada foi uma redução progressiva na firmeza da massa com o aumento da concentração de fibra que pode estar associada com o rompimento da matriz proteína-amido na microestrutura da massa causada pela fibra. Porém, a elasticidade da massa mostrou uma grande variação tanto para o tipo de fibra quanto para a quantidade utilizada. Para pegajosidade e adesividade, houve uma tendência para a redução da adesividade com o aumento da concentração de fibras.

Comparado com massas alimentícias tradicionais, a massa rica em farelo apresenta um sabor distinto e sua qualidade é geralmente considerada inferior, com uma textura mais macia e maiores perdas de sólidos no cozimento (EDWARDS et al, 1995; MANTHEY; SCHORNO, 2002).

Já existem no mercado massas alimentícias contendo farelo, porém, muitos consumidores ainda não incluem esses produtos em suas refeições devido a algumas razões sensoriais, tais como cor, aroma, coesividade e dureza. Porém, estão cientes da importância da ingestão de alimentos saudáveis, principalmente contendo fibras. Desta forma, os consumidores necessitam de alimentos com fibras, mas que apresentem características sensoriais agradáveis (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007).

Sozer, Dalgiç e Kaya (2007) estudaram as propriedades de espaguete enriquecido com AR e verificaram que, quando comparado com o espaguete enriquecido com farelo, apresentou melhores características de textura. O espaguete enriquecido com AR apresentou menor pegajosidade e os valores de

firmeza foram bastante parecidos com os da amostra padrão. Além disso, também apresentaram menores perdas no cozimento que os espaguetes contendo farelo.

Embora existam informações disponíveis sobre os efeitos benéficos das fibras, a inclusão destas na formulação de massas alimentícias pode apresentar grandes desafios para a indústria de alimentos em termos de qualidade de cozimento do produto e suas características de textura.

Edwards et al. (1995), ao estudarem as características de macarrões obtidos de farinha de trigo de grão inteiro, verificaram que houve uma redução na firmeza do produto, quando comparado com a amostra controle. De acordo com os pesquisadores, os constituintes do farelo no macarrão com farinha de trigo de grão inteiro possivelmente impediram a continuidade da matriz proteína e amido resultando em um produto mais “fraco”. Os autores também relataram que houve uma maior perda de sólidos no cozimento e que isso estaria relacionado com a presença de componentes solúveis em água encontrados no farelo e na camada de aleurona.

Em processamento de massa de farinha de trigo *durum* de grão inteiro, o farelo e gérmen tendem a interromper a matriz do glúten, assim, após a secagem, a massa fica mais rígida e tende a quebrar mais facilmente (MANTHEY, 2002).

Tudoricã, Kuri e Brennan (2002), ao estudarem as características de massas enriquecidas com fibras de diferentes fontes (ervilha, inulina e goma guar) verificaram que maiores perdas de sólidos no cozimento foram obtidas quando as fibras de ervilha e inulina foram adicionadas nas amostras. Segundo esses autores, o aumento na perda de sólidos pode ser devido ao rompimento da matriz proteína e amido e a distribuição desigual de água na matriz da massa devido à tendência de competição de hidratação da fibra, impedindo o inchamento do amido em função da limitada disponibilidade de água.

A qualidade das massas alimentícias e as características do cozimento são dependentes da matriz proteína-amido do produto. Características tais como firmeza, perdas no cozimento e pegajosidade podem estar associadas com o conteúdo de proteína, força do glúten, composição do amido (BRENNAN; TUDORICÃ, 2007) e quantidade de fibra adicionada. A qualidade das massas

alimentícias adicionadas de fibras pode ser melhorada através do uso de aditivos ou coadjuvantes, a exemplo das enzimas capazes de modificar a estrutura química de proteínas.

3 TRANSGLUTAMINASE

A enzima transglutaminase (TG) é amplamente utilizada na indústria alimentícia melhorando a qualidade de novos produtos, ajudando no desenvolvimento de alimentos mais saudáveis e na melhoria da funcionalidade de ingredientes incorporados nos produtos alimentares (TAKÁCS; GELENCSÉR; KOVÁCS, 2008; WANG et al., 2011).

A transglutaminase (TGase; proteína glutamina *γ*-glutamil transferase, E.C.2.3.2.13) é uma enzima largamente distribuída na natureza, sendo encontrada em vários tecidos animais, plantas e micro-organismos. A transglutaminase microbiana é altamente ativa em um grande intervalo de temperatura, apresentando temperatura ótima de 50 °C, porém perde atividade em apenas alguns minutos a 70 °C, é estável em uma faixa de pH entre 5 e 9, faixa de pH da maioria dos alimentos processados (KURAISHI et al., 2001; DUBE et al., 2007). Apresenta um peso molecular aproximado de 38000 kDa e ponto isoelétrico em torno de 9 (KURAISHI et al., 2001; YOKOYAMA; NIO; KIKUCHI, 2004).

A transglutaminase de origem microbiana adquiriu importância devido às inúmeras aplicações possíveis em alimentos. Os estudos baseados na seleção de milhares de micro-organismos mostram que linhagens do gênero *Streptovorticillium* têm a habilidade de produzir essa enzima em grandes quantidades devido ao tipo de crescimento micelial no meio de cultura, que é característico do gênero (YAN et al., 2005). Suas principais vantagens sobre todas as outras fontes da enzima são a produção de uma enzima cálcio independente, de peso molecular relativamente baixo e de custo de produção baixo quando comparado aos outros processos de obtenção de transglutaminase. Ambas as características são importantes para a aplicação industrial de enzimas (YOKOYAMA; NIO; KIKUCHI, 2004).

Diversos estudos demonstram que a TG microbiana é capaz de formar ligações cruzadas com a maioria das proteínas dos alimentos, tais como, caseínas, glúten, globulinas de soja, proteínas de ovos, actina e miosina (NONAKA et al., 1992; KANG et al., 1995; SOARES et al., 2004; WANG et al., 2011).

As proteínas formadoras do glúten podem ser classificadas em três principais grupos, cada um consiste de dois ou três tipos de proteínas: um grupo de alto peso molecular (HMW) incluindo α - e γ - subunidades de glutenina; um grupo de médio peso molecular (MMW) contendo o ω 5- e ω 1,2- tipos de gliadina; e um grupo de baixo peso molecular (LMW) composto de subunidades de glutenina, e α - e γ - tipos de gliadina (WIESER; ANTES; SEILMEIER, 1998). Estudos têm demonstrado que TG forma ligações cruzadas preferencialmente com as proteínas formadoras do glúten, glutenina e gliadina, de alto peso molecular (> 85.000 Da), mostrando pouca afinidade com gliadinas de baixo peso molecular (<70.000 Da) (GERRARD et al., 2001; MEDINA-RODRÍGUEZ et al., 2009; BELLIDO; HATCHER, 2011). Isto está de acordo com o menor conteúdo de lisina da gliadina comparado com o da glutenina (0,8 mol % *versus* 2,1 % da composição de aminoácido) (JOYE et al., 2009).

A TG pode atuar de três maneiras diferentes, modificando as proteínas devido à incorporação de grupamento amina, ligação cruzada ou desamidação. A TG catalisa reações de acil-transferência introduzindo ligações cruzadas covalentes intra e intermoleculares entre cadeias de proteínas, peptídeos e várias aminas primárias, principalmente através de ligações covalentes entre resíduos de glutamina e lisina. A ligação cruzada formada entre resíduos de lisina e de glutamina forma uma ligação ϵ -(γ -glutamil)-lisina, criando uma rede proteica estável, com formação de compostos de alto peso molecular, sem redução do valor do resíduo de lisina. Este é o tipo mais comum de reação catalisada pela TG. Na ausência de aminas primárias disponíveis ou no caso de os grupos ϵ -amino da lisina estarem “bloqueados” por certos reagentes químicos, essa enzima pode catalisar a incorporação de grupos amina em proteínas através da amida de um resíduo de glutamina, e hidrolisar um resíduo de glutamina a glutamato, resultando

na desamidação de resíduos glutamínicos (Figura 1) (GERRARD et al., 2001; KURAISHI et al., 2001; YOKOYAMA; NIO; KIKUCHI, 2004; BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006; DUBE et al., 2007; AALAMI; LEELAVATHI, 2008; BELLIDO; HATCHER, 2011; WANG et al., 2011).

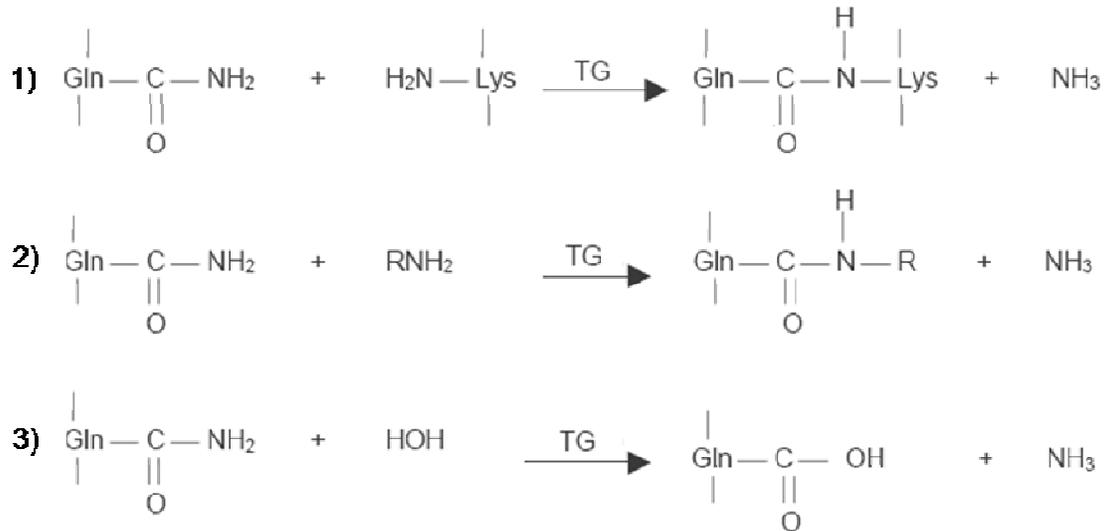


Figura 1. Reações catalisadas pela transglutaminase.

(1) Formação de ligações cruzadas entre resíduos de glutamina e lisina de proteínas e peptídeos, (2) incorporação de grupamento amina livre e (3) desamidação do resíduo glutamina para formar glutamato (Fonte: GERRARD et al., 2001).

A natureza e a conformação dos aminoácidos na vizinhança do resíduo de glutamina são os fatores que afetam a reatividade do acil doador (DUBE et al., 2007).

Dentre as três reações possíveis, apenas a reação de formação da ligação cruzada é de interesse na modificação das propriedades funcionais tecnológicas de proteínas. Porém, a reação entre grupos γ -carboxiamida e aminas primárias é uma alternativa interessante para aumentar o valor nutricional de proteínas vegetais devido à possibilidade de incorporação de aminoácidos limitantes (DUBE et al., 2007).

Estudos microscópicos mostraram modificações no comportamento reológico da massa de trigo adicionada de TG, como um maior grau de orientação na rede de glúten (LARRÉ et al., 2000). As ligações cruzadas formadas pela enzima reduzem a solubilidade das proteínas da rede de glúten e aumentam o

conteúdo de polímeros proteicos, causando modificações nas propriedades reológicas da massa, e como consequência, podem ocorrer alterações nas características tecnológicas. Esses efeitos dependem da quantidade de enzima e das características da cultivar de trigo (BASMAN; KÖKSEL; NG, 2002; MEDINA-RODRÍGUEZ et al., 2009). Melhores efeitos na absorção de água, elasticidade e extensibilidade da massa, volume do pão e textura do miolo têm sido observados com o uso dessa enzima (GERRARD et al., 2001).

A incorporação de ligações cruzadas às proteínas formadoras do glúten de trigo é de interesse particular devido ao seu alto conteúdo de glutamina. Ligações cruzadas intermoleculares introduzidas à estrutura da proteína pela TG podem melhorar as propriedades reológicas do glúten. Foi relatado que a adição da TG é capaz de transformar um glúten muito fraco em forte, mostrando sua influência no comportamento reológico da massa (BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006; BELLIDO; HATCHER, 2011). Larré et al. (2000) relataram que o glúten modificado com TG foi menos sensível ao processamento térmico do que o glúten não modificado. Entretanto, pouca informação está disponível sobre as alterações nas propriedades funcionais das proteínas do glúten causadas pelo tratamento com TG (BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006).

Gerrard et al. (2001) verificaram que a adição de TG na massa de *croissant* reduziu a quantidade de proteína nas frações de albumina e globulina, enquanto a fração de gliadina aumentou. Esses autores atribuíram a melhoria de qualidade do produto à redução da quantidade de proteínas não formadoras de glúten (albumina e globulina) e ao consequente aumento das proteínas formadoras de massa. No pão, os efeitos nessas frações não foram muito pronunciados. Os autores também relataram uma possível formação de ligações cruzadas em gluteninas de alto peso molecular.

3.1 Aplicação da transglutaminase em massas alimentícias

No caso do glúten, o principal componente das proteínas do trigo, a transglutaminase leva à formação de polímeros de alto peso molecular, apesar do baixo conteúdo de lisina nas proteínas do glúten. A formação da ligação ϵ -(γ -

glutamil)-lisina fortalece a estrutura da rede e modifica a viscoelasticidade do glúten (KURAISHI et al., 2001).

Em estudo com semolina, foi observado que a resistência à ruptura do espaguete produzido com variedade de trigo de baixo teor proteico aumentou significativamente com a adição de TG. No entanto, níveis mais elevados do que 1,0 % não afetaram significativamente a resistência à ruptura do espaguete. Provavelmente o elevado grau de ligações cruzadas, especialmente em um meio de baixa quantidade de proteína, pode ter afetado negativamente a integridade da rede de glúten e também interações do glúten com o amido (AALAMI; LEELAVATHI, 2008).

Sakamoto et al. (1996) relataram que o tratamento de *noodles* e massas com TG preveniu a deterioração da textura após o cozimento e melhorou a força do produto. As ligações cruzadas introduzidas pela TG são estáveis ao calor e, por isso, a firmeza e a elasticidade das massas são mantidas por um maior tempo após o cozimento (KURAISHI et al., 2001).

A aplicação de TG foi testada também em macarrões instantâneos e outras massas, e demonstrou preservar a textura da massa após o cozimento, mesmo quando a farinha de trigo usada foi de qualidade inferior (YOKOYAMA; NIO; KIKUCHI, 2004).

Como relatado por Seo et al. (2003), a adição de TG (3-7 mg/kg de farinha) à farinha de trigo melhorou a estabilidade da massa e a mastigabilidade dos *noodles*. Porém, a adição de 10 mg/kg não apresentou impacto na estabilidade da massa. Os autores acreditam que excessivas ligações cruzadas dentro da proteína com altas concentrações de TG prejudicaram a formação regular da rede.

Em estudo com semolina de trigo *durum*, o uso de TG promoveu redução da solubilidade das proteínas do glúten e também melhorou a qualidade de espaguete produzido com cultivares de trigo de baixo teor proteico (AALAMI; LEELAVATHI, 2008).

3.1.1 Aplicação da transglutaminase em massas alimentícias com fibras

Há pouca informação disponível sobre os efeitos da TG em farinha de trigo de grão inteiro. A maioria das pesquisas está relacionada com diferentes cultivares de trigo e com a adição de farelo de trigo aos produtos.

A fibra alimentar tem se tornado uma questão de interesse público considerável nos últimos anos por causa de seus efeitos fisiológicos e metabólicos benéficos. O farelo de trigo está entre as fontes de fibra mais usadas, tendo como efeitos o aumento do bolo fecal, diminuindo assim a incidência de doenças relacionadas ao colesterol (BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006).

A suplementação de massas com farelo de trigo pode representar um importante papel no alcance de benefícios à saúde. Porém a adição de farelo pode causar problemas na qualidade do produto, principalmente no cozimento e na coloração (MANTHEY; SCHORNO, 2002; BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006).

Altas proporções de fibras interferem na razão balanceada de amido, glúten e pentosanas na massa, reduzindo sua qualidade no processamento (DUBE et al., 2007). Além disso, a fibra interfere na continuidade da rede de glúten, enfraquecendo a massa, reduzindo a força mecânica e a qualidade de cozimento (BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006). A redução da firmeza das massas alimentícias pode estar associada com o rompimento da matriz proteica causado pelas fibras (TUDORICĂ et al., 2002).

Basman, Hamit e Ayhan (2006) avaliaram a incorporação de farelo (15 e 30 %) na formulação de espaguete utilizando TG (0,2 e 0,4 %) e verificaram que a adição alterou as características tecnológicas e sensoriais do produto, melhorando sua qualidade, sobrepondo os efeitos negativos causados pela adição de farelo.

As ligações hidrofóbicas dissulfeto e de hidrogênio que formam a matriz proteica na massa influenciam as propriedades viscoelásticas do produto cozido. A natureza dessas ligações intra e intermoleculares determina a continuidade e a força da matriz proteica. A formação de ligações cruzadas covalentes não dissulfeto, pela TG, pode transformar um glúten fraco em um glúten muito forte devido aos efeitos da enzima nas propriedades reológicas da massa. Isso pode impedir a desintegração da matriz proteica durante o processo de cozimento e

limitar a liberação de sólidos na gelatinização dos grânulos de amido durante o cozimento, resultando em uma superfície menos aderente da massa (LARRÉ et al., 2000; KURAISHI et al., 2001; BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006). Isso ocorre porque essas ligações podem formar uma rede ao redor dos grânulos de amido e encapsulá-los durante o cozimento, restringindo sua liberação (BASMAN; HAMIT; AYHAN, 2006).

Basman, Hamit e Ayhan (2006) relataram que os valores de firmeza do espaguete, de modo geral, aumentaram com maiores níveis de TG e diminuíram com o aumento dos níveis de farelo.

Existem diversas pesquisas de massas alimentícias com adição de AR (SOZER; DALGIC; KAYA, 2007; SOZER; KAYA; DALGIC, 2008; HERNÁNDEZ-NAVA et al, 2009; VERNAZA et al., 2012), porém, ainda não há estudos relacionando o uso da enzima TG nesse tipo de produto.

A natureza exata dos efeitos da TG em diferentes proteínas do alimento precisa ser determinada, a fim de compreender a ação da enzima e relacionar as alterações moleculares com as alterações macroscópicas no produto final. Além disso, esses estudos precisam ser realizados no próprio alimento, já que os resultados de testes piloto não traduzem necessariamente com sucesso industrial a situação de processamento de alimentos (GERRARD et al., 2001).

O fortalecimento da massa com o uso da TG pode ser um fator muito importante para a comercialização de produtos de grão inteiro e AR, podendo possibilitar a obtenção de um produto com a textura *al dente*. Além disso, do ponto de vista tecnológico, um leve sobrecozimento não levaria a uma significativa alteração na qualidade do produto final. Todas essas características que a TG confere aos alimentos tornam-a um importante coadjuvante para o desenvolvimento de novos produtos que atendam às necessidades dos consumidores cada vez mais exigentes.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALAMI, M.; LEELAVATHI, K. Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. **Journal of Food Science**, v.73, n.5, p.306-312, 2008.

ABIMA - **Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias**. Disponível em: <<http://www.abima.com.br>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

ADOM, K. K.; LIU, R. H. Antioxidant activity of grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, n.21, p.6182-6187, 2002.

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

BAIXAULI, R.; SANZ, T.; SALVADOR, A.; FISZMAN, S. M. Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. **Journal of Cereal Science**, v.47, p.502-509, 2008.

BASMAN, A.; KOKSEL, H.; ATLI, A. Effects of increasing levels of transglutaminase on cooking quality of bran supplemented spaghetti. **European Food Research Technology**, v. 223, p. 547–551, 2006.

BASMAN, A.; KOKSEL, H.; NG, P. K. W. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours. **European Food Research Technology**, v. 215, p. 419-424, 2002.

BELLIDO, G. G.; HATCHER, D. W. Effects of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chinese-style noodles. **Food Chemistry**, v. 125, p. 813–822, 2011a.

BRASIL. Ministério de Saúde. **Resolução**. Resolução RDC nº18, de 30/04/1999. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2011.

BRASIL. Ministério de Saúde. **Portaria** nº 398, de 30/04/99. Aprova o Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/>>. Acesso em 12 jan. 2011a.

BRASIL. Ministério de Saúde. **Resolução**. Resolução RDC nº19, de 30/04/1999. Aprova o Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2011b.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria**. Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 05 de setembro de 2011c.

BRASIL. Ministério de Saúde. **Resolução**. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2011d.

BRENNAN, C. S.; KURI, V.; TUDORICĂ, C. M. Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. **Food Chemistry**, v. 86, p. 189-193, 2004.

BRENNAN, C. S.; TUDORICĂ, C. M. Fresh pasta quality as affected by enrichment of nonstarch polysaccharides. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 9, p.659-665, 2007.

CHAMP, M.; FAISANT, N. Resistant starch: analytical and physiological aspects. **Boletim da Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1 p.37-43, 1996.

CHANG, Y. K.; FLORES, H. E. M. Qualidade tecnológica de massas alimentícias frescas elaboradas de semolina de trigo durum (*T. durum* L.) e farinha de trigo (*T. aestivum* L.) **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 487-493, 2004.

COLONNA, P.; LELOUP, V.; BULÉON, A. Limiting factors of starch hidrolisis. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, n.2, p.17-32, 1992.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_06_09_08_50_47_graos_-_boletim_junho-2011..pdf>. Acesso em: 20 jun. 2011.

COSTABILE, A.; KLINDER, A.; FAVA, F.; NAPOLITANO, A.; FOGLIANO, V.; LEONARD, C.; GIBSON, G. R.; TUOHY, K. M. Whole-grain wheat breakfast cereal has a prebiotic effect on the human gut microbiota: a double-blind, placebo-controlled, crossover study. **British Journal of Nutrition**, v. 99, p. 110-120, 2008.

DUBE, M.; SCHÄFER, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.. Texturisation and modification of vegetable proteins for food applications using microbial transglutaminase. **European Food Research and Technology**, v. 225, p. 287-299, 2007.

EDWARDS, N. M.; BILIADERIS, C. G.; DEXTER, J. E. Textural characteristics of whole wheat pasta and pasta containing non-starch polysaccharides. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 6, p.1321-1324, 1995.

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

FDA - Food and Drug Administration's **CFR - Code of Federal Regulations Title 21**. Disponível em: <<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm>>. Acesso em: 12 set. 2011.

FAGUNDES, R. L. M.; COSTA, Y. R. Usos dos alimentos funcionais na alimentação. **Higiene Alimentar**, v.17, n.108, p. 42-49, 2003.

FAISANT, N.; GALLANT, D.J.; BOUCHET, B.; CHAMP, M. Banana starch breakdown in the human small-intestine studied by electron microscopy. **European Journal Clinical Nutrition**, v. 49, p. 98-104, 1995.

FRANZ, M.; SAMPSON, L. Challenges in developing a whole grain database: definitions, methods and qualification. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.19, p. 38-44, 2006.

FREITAS, M. C. J. Amido resistente: propriedades funcionais. **Nutrição Brasil**, v. 1, p. 40-48, 2002.

FUENTES-ZARAGOZA, E.; RIQUELME-NAVARRETE, M.J.; SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International**, v. 43, p. 931-942, 2010.

GARCIA-ALONSO, A.; JIMÉNEZ-ESCRIG, A.; MARTÍN-CARRÓN, N.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. **Food Chemistry**, v. 66, p. 181-187, 1999.

GERRARD, J.A.; FAYLE, S.E.; BROWN, P.A.; SUTTON, K.H.; SIMMONS, L.; RASIAH, I. Effects of Microbial Transglutaminase on the Wheat Proteins of Bread and Croissant Dough. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 6, p. 782-786, 2001.

GOÑI, I.; GARCIA-DIZ, L.; MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 445-449, 1996.

GRAY, J. Fibra Alimentar: Definição e análise, fisiologia e saúde in **ILSI Europe concise monograph series**. ILSI Europe, 2006, 52p.

HARALAMPU, S. G. Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS3. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, p. 285-292, 2000.

HERNÁNDEZ-NAVA, R.G.; BERRIOS, J.; DE PAN, J.; OSORIO-DÍAZ, P.; BELLO-PEREZ, L.A. Development and characterization of spaghetti with high resistant starch content supplemented with banana starch. **Food Science and Techlogy International**, v. 15, n. 1, p. 73-78, 2009.

HHS-USDA. **Dietary Guidelines for Americans** 2005. Disponível em: <<http://www.healthierus.gov/dietaryguidelines/>>. Acesso em: 04 set. 2011.

HIRAWAN, R.; SER, W.Y.; ARNTFIELD, S.D.; BETA, T. Antioxidant properties of commercial, regular- and whole-wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v. 119, p. 258-264, 2010.

HOSENEY, C.A. Principles of Cereal Technology, second ed. **American Association of Cereal Chemists Inc.**, St Paul, Minnesota. 1998.

JACOBS, D. R., JR.; MEYER, K. A.; KUSHI, L. H.; FOLSOM, A. R. Is whole grain intake associated with reduced total and causespecific death rates in older women: The Iowa Women's Health Study. **American Journal of Public Health**, v. 89, p. 322-329, 1999.

JIANG, H. **Resistant-starch formation in high-amylose maize starch**. 2010. 197 f. Ames-Iowa. Dissertation (Master in Food Science and Technology) - Iowa State University, Ames, 2010.

JOYE, I. J.; LAGRAIN, B.; DELCOUR, J. A. Use of chemical redox agents and exogenous enzymes to modify the protein network during breadmaking – A review. **Journal of Cereal Science**, v. 50, p. 11–21, 2009.

KANG, I. J., MATSUMURA, Y.; IKURA, K.; MOTOKI, M; SAKAMOTO, H.; TOMOHIKO, M. Gelation and properties of soybean glycinin in a transglutaminase-catalyzed system. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 1, p.159-165, 1994.

KRUGER, J.E.; MATSUO, R.B.; DICK, J.W. **Pasta and Noodle Technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA, 1998, 356p.

KURASHI, C.; YAMAZAKI, K.; SUSA, Y. Transglutaminase: its utilization in the food industry food. **Reviews International**, v.17, n.2, p. 221-246, 2001.

LARRÉ, C.; DENERY-PAPINI, S.; POPINEAU, Y.; DESHAYES, G.; DESSERME, C.; LEFEBVRE, J. Biochemical Analysis and Rheological Properties of Gluten Modified by Transglutaminase. **Cereal Chemistry**, v. 77, p. 32–38, 2000.

LIU, S. M.; STAMPFER, M. J.; HU, F. B.; GIOVANNUCCI, E.; RIMM, E.; MANSON, J. E.; HENNEKENS, C. H.; WILLETT, W. C. Whole grain consumption and risk of coronary heart disease: results from the Nurses' Health Study. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, p. 412- 419. 1999.

MAKI, K.C; SANDERS, L.M.; REEVES, M.S.; KADEN, V.N.; RAINS, T.M; CARTWRIGHT, Y. Beneficial effects of resistant starch on laxation in healthy adults. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v.60, n.4, p.296-305, 2009.

MANTHEY, F. A.; SCHORNO, A. L. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum. **Cereal Chemistry**, v.79, p. 504-510, 2002.

MARQUART, L.; SLAVIN, J.L.; FULCHER, R. G. Whole-grain foods in health and disease. **American Association of Cereal Chemists Inc.**, St. Paul, Minnesota, 2002. 382 p.

MEDINA-RODRÍGUEZ, C. L.; TORRES, P.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; RAMIREZ-WONG, B.; PAREDES-LÓPEZ, O.; CASTAÑO-TOSTADO, E. Effect of microbial transglutaminase on dough proteins of hard and soft (*Triticum aestivium*) and durum (*Triticum durum*) wheat cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 86, n. 2, p. 127-132, 2009.

MESSINA, M.; MESSINA, V.; SETCXHELL, K. D. R. **The simple soybean and your health**. New York: Avery Publishing Group, 1994. 260p.

MISKELLY, D.M. Noodles - a new look at an old food. **Food Australia**, v. 45, n. 10, p. 496-500, 1993.

MORAES, V.H.F. **Alegações sobre as propriedades funcionais do licopeno: um estudo com consumidores do município de Campinas/SP**. 2007. 118p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

NAMRATHA, J.; ASNA, U.; PRASAD, N. N. Effect of storage on resistant starch content of processed ready-to-eat foods. **Food Chemistry**, v. 79, p. 395-400, 2002.

NONAKA, M.; SAKAMOTO, H; TOIGUCHI, S; KAWAJIRI, H.; SOEDA, T.; MOTOKI, M. Sodium caseinate and skim milk gels formed by incubation with microbial transglutaminase. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 5, p. 1214-1218, 1992.

NUGENT, A. P. **Health properties of resistant starch**. British Nutrition Foundation, London, UK. 30, 27–54. 2005.

OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDIB,S.; AGAMA-ACEVEDOA, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L.A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**, v. 113, p. 121-126, 2009.

PARK, Y. K.; KOO, M. H.; CARVALHO, P. O. Recentes progressos dos alimentos funcionais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 2, p. 200-206, 1997.

PIMENTEL, C. V. M. B. FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2005, 95p.

POMERANZ. Y. Composition and functionality of wheat flour components. In: POMERANZ. Y. (Ed.). **Wheat: chemistry and technology**, 3.ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1988. v.2, p.219- 370.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P.R. Resistant Starch – A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.5, p. 1-17. 2006.

SAKAMOTO, H.; YAMAZAKI K, K.C.; YAMAMOTO, Y.; ITO, R.; KUROSAWA Y. Strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during Chinese noodle processing. **Journal Of The Japanese Society For Food Science And Technology**, v. 43, n. 5, p. 598-602. 1996.

SALGADO, S. M.; FARO, Z.P.; GUERRA, N.B.; LIVERA, A.V.S. Aspectos físicoquímicos e fisiológicos do amido resistente. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.23, n.1, 2005.

SALGADO, S. M.; MELO FILHO, A. B. de; ANDRADE, S. A. C.; MACIEL, G. R.; SANZ, T.; SALVADOR, A.; FISZMAN, S.M. Resistant starch (RS) in battered fried products: Functionality and high-fibre benefit. **Food Hydrocolloids**, v.22, n.4, p.543-549, 2008.

SGARBIERI, V.C.; PACHECO, M.T.B. Revisão: Alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, n. 12, p. 7-19, 1999.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Phenolic compounds in grains. Food Phenolics: Sources, chemistry, effects, applications, **Technomic Publishing Company Inc**: Lancaster, PA, p 3-39. 1995.

SLAVIN, J. Why whole grains are protective: biological mechanisms. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, p. 129-134. 2003.

SLAVIN, J. Whole grains and human health. **Nutrition Research Reviews**, v. 17, p. 99-110, 2004.

SOARES, L.H.B.; ALBUQUERQUE, P.M; ASSMANN, F.; AYUB, M.A.Z. Physicochemical properties of three food proteins treated with transglutaminase. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1219-1223, 2004.

SOZER, N.; DALGIÇ, A. C.; KAYA, A. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 2, p. 476-484, 2007.

SOZER, N.; KAYA, A.; DALGIC, A. C. The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. **Journal of Texture Studies**, v. 39, p. 1–16, 2008.

TAKÁCS, K.; GELENCSEÉR, E.; KOVÁCS, E.T. Effect of transglutaminase on the quality of wheat-based pasta products. **European Food Research Technology**, v. 226, p. 603–611, 2008.

THOMPSON, D. B. Strategies for the manufacture of resistant starch. **Food Science & Technology**, v. 11, p. 245-253, 2000.

THOMPSON, L. U. Antioxidant and hormone-mediated health benefits of whole grains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 34, p. 473-497, 1994.

TUDORICĂ, C.M.; KURI, V.; BRENNAN, C.S. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 347-356, 2002.

VERNAZA, M.G.; BIASUTTI, E.; SCHMIELE, M.; JAEKEL, L.Z.; BANNWART, A.; CHANG, Y.K. Effect of supplementation of wheat flour with resistant starch and monoglycerides in pasta dried at high temperatures. **International Journal of Food Science & Technology**, v.47, n.6, p.1302–1312, 2012.

WALTER, M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência rural**, v. 35, n. 4, p. 974-980, 2005.

WANG, F.; HUANG, W.; KIM, Y.; LIU, R.; TILLEY, M. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin. **Journal of Cereal Science**, v. 54, p. 53-59, 2011.

WIESER, H.; ANTES, S.; SEILMEIER, W. Quantitative Determination of Gluten Protein Types in Wheat Flour by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography, **Cereal Chemistry**, v.75, n.5, p.644-650, 1998.

YAN, G.; DU, G.; LI, Y.; CHEN, J., Zhong, J. Enhancement of microbial transglutaminase production by *Streptovorticillium mobaraense*: application of a two-stage agitation speed control strategy. **Biochemistry**, v. 40, n. 2, p. 936-968, 2005.

YOKOYAMA, K.; NIO, N.; KIKUCHI, Y. Properties and applications of microbial transglutaminase. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 64, p. 447- 454, 2004.

ARTIGO 1. Avaliação do efeito da adição de farinha de trigo de grão inteiro e da enzima transglutaminase nas características tecnológicas de massas alimentícias

Leandra Zafalon JAEKEL^{1*}; Yoon Kil CHANG¹

¹Departamento de Tecnologia de Alimentos - Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - C.P. 6121 - CEP 13083-862 - Campinas-SP;

E-mails: leandrazafalon@gmail.com; yokic@fea.unicamp.br

*Autor para correspondência.

Resumo

A busca por alimentos saudáveis é crescente gerando possibilidades de novos produtos e de explorar a ampla gama de matérias-primas, como o trigo, cujo grão contém inúmeros componentes que trazem benefícios à saúde, em destaque o teor de fibra alimentar. Porém, a farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) pode causar problemas tecnológicos no processamento de massas alimentícias devido ao enfraquecimento da rede de glúten, que podem ser solucionados através da adição da enzima transglutaminase (TG). O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da adição de FTGI e TG na qualidade de massas alimentícias tipo espaguete, através de um delineamento composto central rotacional de duas variáveis independentes, sendo: $x_1 = \text{FTGI}$ (51 a 100 %) e $x_2 = \text{TG}$ (0 a 0,5 %). As variáveis dependentes analisadas foram: parâmetros farinográficos, cor, características de cozimento e de textura, solubilidade proteica e fibra alimentar total. Os resultados foram analisados por Metodologia de Superfície de Resposta e mostraram que FTGI e TG apresentaram influência significativa ($p < 0,10$) para tempo de desenvolvimento da massa, índice de tolerância à mistura e na cor (L^*) (influenciada apenas por FTGI). O tempo de desenvolvimento diminuiu com o aumento de FTGI e com a redução da enzima, o índice de tolerância à mistura foi menor próximo aos pontos centrais de FTGI (80 %) e TG (0,25 %). E, a cor (L^*) diminuiu com o incremento de FTGI, devido à presença do farelo nessa farinha. Todas as formulações estudadas puderam ser consideradas fontes de fibras, pois apresentaram conteúdo de fibra alimentar acima de 3 %.

Palavras-chave: farinha de trigo de grão inteiro, fonte de fibra, transglutaminase, espaguete.

Abstract

The search for health foods is growing creating possibilities of developing new products and exploring a wide range of raw materials such as wheat, whose grain contains numerous components that provide health benefits, the dietary fiber content as a highlight. However, the whole grain wheat flour (WGWF) may lead to technological problems in pasta making due to the weakening of gluten network. One way to try to solve this problem is by adding transglutaminase enzyme (TG). The aim of this study was to evaluate the influence of the addition of WGWF and TG on the quality of spaghetti, by using a central composite rotational design of two independent variables, namely: $x_1 = \text{WGWF}$ (51 to 100 %) and $x_2 = \text{TG}$ (0 to 0.5 %). The dependent variables studied were: farinographic parameters, color, cooking and texture characteristics, protein solubility and total dietary fiber. The results were analyzed by Response Surface Methodology and showed that WGWF and TG influenced statistically significant ($p < 0.10$) only for the dough development time decreased with increasing WGWF and reduction of the enzyme, mixing tolerance index was lowest near the center points FTGI (80%) and TG (0.25%). The color (L^*) decreased with increase of WGWF due to the presence of bran that flour. Among the independent variables, WGWF had the highest effect on these variables. All formulations tested can be considered sources of fiber, since they contain more than 3% of total dietary fiber.

Key-words: whole grain wheat flour, fiber source, transglutaminase, spaghetti.

1 INTRODUÇÃO

A popularidade dos alimentos funcionais tem crescido rapidamente nos últimos anos, oferecendo à indústria de alimentos possibilidades e desafios de melhorar a qualidade nutricional dos alimentos existentes e desenvolver novos alimentos que podem promover benefícios à saúde (SCHAAFSSMA, 2004). O número de estudos relacionando os hábitos alimentares com a saúde é crescente e as pesquisas mostram que o consumo regular de alimentos funcionais reduz o risco de ocorrência de doenças cardiovasculares, câncer, osteoporose, diabetes, além de diminuir os sintomas da pós-menopausa (MESSINA; MESSINA; SETCXHELL, 1994; SGARBIERI; PACHECO, 1999; PIMENTEL; FRANCKI; GOLLÜCKE, 2005; FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010).

Entre os constituintes dos alimentos com alegação de propriedades funcionais, devidamente registrados pelo órgão competente no Brasil, estão os ácidos graxos, carotenóides, fibras alimentares, fitoesteróis, polióis, probióticos e proteína de soja (BRASIL, 2011). Esses constituintes estão presentes em muitas

matérias-primas, porém, na maioria das vezes, são pouco explorados, como é o caso da farinha de trigo de grão inteiro (FTGI), rica em fibra alimentar entre outros componentes.

A FTGI é obtida pela moagem de todo o grão do trigo, contendo todos os componentes promotores de saúde (fibras, minerais, vitaminas, antioxidantes naturais e aminoácidos) (THOMPSON, 1994; COSTABILE et al., 2008; HIRAWAN et al., 2010). O trigo apresenta uma grande importância para a economia do Brasil, e uma das maneiras de aproveitar essa matéria-prima em potencial é através do desenvolvimento de novos produtos, a exemplo das massas alimentícias que apresentam consumo em crescimento. De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (ABIMA, 2012), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de massas alimentícias, com um total de 1,3 milhão de toneladas anuais. Apenas a Itália e os Estados Unidos estão à frente, com produções de 3,2 e 2,5 milhões de toneladas anuais, respectivamente.

Contudo, a adição de FTGI causa prejuízos tecnológicos aos produtos devido ao enfraquecimento da matriz proteica. A enzima transglutaminase é uma alternativa de solucionar esse problema, além de ser amplamente distribuída na natureza (tecidos animais, plantas e micro-organismos), estável em uma ampla faixa de pH (5 e 9) e apresentar temperatura ótima de atividade em torno de 50 °C (KURAISHI et al., 2001; DUBE et al., 2007).

A transglutaminase é capaz de formar ligações cruzadas com a maioria das proteínas dos alimentos, a exemplo, caseínas, glúten, globulinas de soja, proteínas de ovos, actina e miosina (SOARES et al., 2004; WANG et al., 2011). A ligação cruzada mais comumente formada por esta enzima é entre resíduos de lisina e de glutamina formando uma ligação ϵ -(γ -glutamil)-lisina, resultando em uma matriz proteica estável, com formação de compostos de alto peso molecular (GERRARD et al., 2001; NIO; KIKUCHI, 2004; BASMAN; KOKSEL; ATLI, 2006; DUBE et al., 2007; AALAMI; LEELAVATHI, 2008; BELLIDO, HATCHER, 2011; WANG et al., 2011). Nas proteínas do trigo, esta enzima forma ligações cruzadas principalmente entre a glutenina e a gliadina de alto peso molecular (MEDINA-RODRÍGUEZ et al., 2009; BELLIDO; HATCHER, 2011).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da adição de FTGI e de transglutaminase nas características reológicas da farinha e tecnológicas das massas alimentícias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matérias – primas

As matérias-primas utilizadas na produção das massas alimentícias foram: farinha de trigo (FT), fornecida pela empresa *Bunge Alimentos S.A.* (Tatuí/SP, Brasil); FTGI, fornecida pelo *Moinho Sul Mineiro S.A.* (Varginha/MG, Brasil); ambas farinhas obtidas de *Triticum aestivum*; e enzima transglutaminase (TG) em pó obtida do *Streptomyces mobaraense*, com atividade enzimática de 20–34 U.g⁻¹, fornecida pela *Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos LTDA* (São Paulo/SP, Brasil).

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterização física e química das matérias-primas

2.2.1.1 Composição centesimal

A FT e a FTGI foram caracterizadas, em triplicata, quanto à composição centesimal através da determinação do teor de umidade, proteína, cinzas e lipídeos, segundo os respectivos métodos oficiais 44-15.02, 46-13.01, 08-01.01 e 30-25.01 da AACC (2010). Carboidratos foram determinados por diferença. O teor de fibra alimentar total foi determinado por análise enzimática gravimétrica, de acordo com o método oficial nº 985.29 da AOAC (1997).

2.2.1.2 Granulometria

A granulometria das FT e FTGI foi determinada, em triplicata, pelo método oficial nº 965.22 da AOAC (1995), em agitador de peneiras *Granutest* modelo 295 (São Paulo/ Brasil), e os resultados obtidos expressos em porcentagem.

2.2.1.3 Cor

A cor das FT e FTGI foi avaliada instrumentalmente utilizando um colorímetro Mini *ScanTMXE*, modelo nº 45/0-L (Reston/USA), com iluminante D65,

ângulo de visão de 10° e calibração *reflectance specular included* (RSIN) para leitura dos parâmetros L*, a* e b*, em triplicata.

2.2.1.4 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As propriedades térmicas das FT e FTGI foram determinadas, em triplicata, utilizando-se calorímetro diferencial de varredura (DSC SHIMADZU-TA60) (Kyoto, Japão). As amostras foram trituradas, passadas por peneira (abertura de 250 µm) e secas em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 °C/24 h). Foram pesadas 3 mg de amostra em cápsulas de alumínio e foram adicionadas 7 µL de água deionizada. As cápsulas foram seladas hermeticamente e mantidas em temperatura ambiente por 1 h antes da análise. Foi utilizada uma cápsula de alumínio vazia como referência. Empregou-se uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, varrendo uma faixa de temperatura de 30 a 95 °C. Os valores de temperatura inicial (T_o), temperatura de pico (T_p) e temperatura final de gelatinização (T_f), bem como os valores de variação de entalpia (ΔH) foram obtidos a partir dos termogramas das amostras analisadas utilizando o *Universal Analyzer TA Software*.

2.2.2 Caracterização reológica das matérias-primas

2.2.2.1 Farinografia

As características farinográficas das FT e FTGI foram avaliadas, em triplicata, utilizando farinógrafo *Brabender* (Duisburg, Alemanha), segundo método oficial nº 52-21.01 da AACC (2010). Os parâmetros avaliados foram: absorção de água (%), tempo de chegada (min), tempo de desenvolvimento da massa (min), tempo de saída (min), estabilidade (min) e índice de tolerância à mistura (unidades farinográficas - UF).

2.2.2.2 Atividade diastásica

A medida indireta da atividade da α -amilase das FT e FTGI foi determinado, em triplicata, no equipamento *Falling number* da marca *Perten Instruments*, modelo 1800 (Huddinge, Suécia), de acordo com o método nº 56-81.03 da AACC (2010) e os resultados expressos em segundos.

2.2.2.3 Propriedades viscoamilográficas

As características viscoamilográficas das FT e FTGI foram determinadas, em triplicata, com o analisador rápido de viscosidade (RVA - *Rapid Visco Analyser*), utilizando o programa *Thermocline for Windows* versão 2.3. Newport Scientific Pty Ltd. (Warriewood, Austrália), segundo a método oficial nº 162 proposto pelo ICC (1995), utilizando o programa *Standard 1*. Os parâmetros analisados foram: temperatura de pasta (°C), viscosidade máxima a quente (cP), viscosidade mínima à temperatura constante (cP), viscosidade final (cP), queda de viscosidade (cP) e tendência a retrogradação (cP).

2.3 Formulações e processamento das massas alimentícias

2.3.1 Planejamento experimental

A obtenção das massas alimentícias foi realizada seguindo um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para estudar os efeitos da adição de FTGI e da enzima transglutaminase. Os níveis das variáveis independentes e os ensaios realizados encontram-se na Tabela 1. Foi elaborada uma formulação base (controle) constituída de FT e água, e nos ensaios variou-se as concentrações de FTGI e TG.

Tabela 1. Matriz do planejamento experimental dos ensaios realizados de acordo com o Delineamento Central Composto Rotacional

| Ensaio | Farinha de trigo de grão inteiro (%) | | Transglutaminase (%) | |
|--------|--------------------------------------|------------------|----------------------|----------------|
| | Valor codificado | Valor codificado | Valor real (%) | Valor real (%) |
| 1 | -1 | 58,12 | -1 | 0,07 |
| 2 | +1 | 92,88 | -1 | 0,07 |
| 3 | -1 | 58,12 | +1 | 0,43 |
| 4 | +1 | 92,88 | +1 | 0,43 |
| 5 | - α | 51 | 0 | 0,25 |
| 6 | + α | 100 | 0 | 0,25 |
| 7 | 0 | 75,5 | - α | 0 |
| 8 | 0 | 75,5 | + α | 0,5 |
| 9 | 0 | 75,5 | 0 | 0,25 |
| 10 | 0 | 75,5 | 0 | 0,25 |
| 11 | 0 | 75,5 | 0 | 0,25 |
| 12 | 0 | 75,5 | 0 | 0,25 |

$\pm 1\alpha = \pm 1,41$.

2.3.2 Sistema farinha de trigo, farinha de trigo de grão inteiro e transglutaminase

As diferentes combinações de farinhas e enzima foram avaliadas quanto às características farinográficas, conforme item 2.2.2.1, para determinação da quantidade de água a ser adicionada em cada ensaio do planejamento experimental. Foram realizados pré-testes com a formulação correspondente ao ponto central do delineamento estatístico e verificou-se que a adição de 33,77 % de água foi suficiente para elaborar uma massa alimentícia com características visuais adequadas. Sendo assim, a quantidade de água necessária para cada ensaio foi determinada conforme equação abaixo (VERNAZA, 2011):

$$\text{Equação 1: } M_{\text{água}} = (A \times B)/C$$

Onde: $M_{\text{água}}$ = quantidade de água a ser adicionada para obtenção de massas (%); A = quantidade de água ideal do ponto central (33,77 %); B = Absorção determinada em cada ensaio através do Farinógrafo; e C = Absorção média dos pontos centrais (64,05 %).

2.3.3 Processamento das massas alimentícias

As massas alimentícias foram elaboradas na indústria de massas Pastifício Selmi (Sumaré/Brasil), de acordo com o método nº 66-50.01 da AACC (2010) com modificações. As matérias-primas (FT, FTGI e TG) foram pré-misturadas por 5 minutos em agitador homegeneizador em “V” da marca Tecnal (Piracicaba, Brasil), e processadas em extrusor a vácuo *Food Processing Systems*, modelo 250-LAB 2.V (Ridgewood, Nova York). A água (54 °C) foi adicionada de acordo com a Equação 1 (item 2.3.2). Depois, procedeu-se à mistura durante 20 min, seguida da extrusão, obtendo-se uma massa alimentícia do tipo espaguete com espessura de 1,70 mm (matriz nº 49149), o corte foi manual. A secagem foi (temperaturas: 45 a 85 °C e umidade relativa: 74 a 85 %) por aproximadamente 12 h, até o produto atingir uma umidade inferior a 12 %, em secador industrial (marca Mega Brasil,

Mauá/Brasil). As massas alimentícias foram armazenadas em embalagens de polietileno.

2.4 Avaliação das massas alimentícias

2.4.1 Cor

As massas cruas foram analisadas de acordo com o item 2.2.1.3.

2.4.2 Características de cozimento

O teste de cozimento foi realizado, em triplicata, segundo o método 66-50.01 da AACCC (2010) e os parâmetros avaliados foram:

Tempo ótimo de cozimento

Foi determinado pela cocção de 10 g de amostra em 140 mL de água destilada em ebulição, até atingir a qualidade visual adequada em consequência da gelatinização do amido em toda a seção da massa, ou seja, até desaparecer a cor branca no eixo central da massa. Este ponto foi determinado pela compressão do produto cozido entre duas lâminas de vidro, a cada 15 segundos, após 5 minutos de cozimento. Os resultados foram expressos em minutos.

Perda de sólidos solúveis na água de cozimento

A quantidade de sólidos lixiviados na água de cozimento foi determinada pela evaporação da água de cozimento em estufa a 105 °C, até peso constante, expresso em percentagem.

Aumento de peso do produto cozido

O aumento de peso foi determinado pela pesagem de uma amostra antes e após a cocção, utilizando-se o tempo de cozimento ideal de cada amostra. O valor do aumento de peso é a razão entre o peso da massa cozida e o peso da massa (10 g), expresso em percentagem.

Aumento de volume do produto cozido

O aumento de volume foi determinado pela razão entre o volume de solvente (hexano) deslocado pelo macarrão cru (10 g) e o cozido, em proveta graduada. Os valores foram expressos em percentagem.

2.4.3 Características de textura

A textura das massas alimentícias cozidas (no tempo ótimo de cozimento, item 2.4.3) foi analisada, imediatamente após o cozimento, de acordo com método 66-50.01 da AACC (2010), utilizando-se o aparelho Texturômetro TA-XT2i, da marca *Stable Micro Systems* (Haslemere, Inglaterra) para avaliação dos seguintes parâmetros:

Firmeza

Os parâmetros desta análise foram: medida de força em compressão; velocidade pré-teste (2 mm/s); velocidade de teste (0,17 mm/s); velocidade pós-teste (10 mm/s); distância (4,5 mm) e o *probe* A/LKB. A análise foi realizada com 15 repetições para cada amostra. O valor de pico máximo da curva foi considerado como a firmeza do produto e expresso em N.

Elasticidade

As condições operacionais usadas foram: medida de força em tensão (N), velocidade pré-teste (1 mm/s); velocidade de teste (3 mm/s); velocidade pós-teste (10 mm/s) e o *probe* A/SPR.

O teste baseia-se na extensão do filamento de massa cozida, pela aplicação de uma força de tensão entre suas extremidades, até a sua completa ruptura. O teste foi realizado com 15 repetições por amostra.

Adesividade

Foi determinada utilizando o *probe* HDP/PFS e as seguintes condições operacionais: velocidade pré-teste (1 mm/s); velocidade de teste (0,5 mm/s); velocidade pós-teste (10 mm/s); distância (100 mm), força (9,81 N) e tempo (2 s). A análise foi realizada com 15 repetições e os resultados expressos em N.

2.4.4 Solubilidade de proteínas

A solubilidade das proteínas foi determinada segundo Aalami e Leelavathi (2008). Os espaguetes crus foram triturados (35000 rpm por 2 minutos em *blender* da marca OXY, modelo OBL 10/2, Santana de Parnaíba, Brasil), passados por peneira (abertura de 250 μ m) e secos em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 °C/24 h). As amostras (1 g) foram adicionadas de 10 mL de solução tampão contendo

fosfato (pH 7,5 e 27,5 mM), 4 % (m/v) de dodecilsulfato de sódio e 5 % de β -mercaptoetanol e agitadas em vórtex a cada 5 min durante 30 min. A suspensão foi centrifugada a 8000 g em centrifuga refrigerada por 10 min. O sobrenadante foi transferido para tubo *Kjedhal* e o conteúdo de proteína foi determinado de acordo com método 46-13.01 (AACC, 2010).

2.4.5 Fibra alimentar total

Os teores de fibra alimentar total das massas alimentícias cruas e cozidas foram calculados a partir dos teores de fibra alimentar das matérias-primas (FT e FTGI), conforme item 2.2.1.1.

2.5 Análise estatística

Os resultados foram analisados através do programa estatístico *Statistica* 7.0 (STATISTICA, 2004) para cálculo dos efeitos, do coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10%. Para o presente trabalho foi adotado coeficiente de regressão (R^2) mínimo da ANOVA de 0,80 para garantir a validade das predições efetuadas pelo modelo matemático e elaboração das superfícies de resposta. A comparação de médias através de teste de Tukey foi realizada com nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização física e química das matérias-primas

3.1.1 Composição centesimal

Na Tabela 2, encontram-se os resultados da composição centesimal de FT e FTGI, na qual verificou-se que as FT e FTGI diferiram estatisticamente $p < 0,05$ em todos os parâmetros.

Os resultados da composição centesimal mostram que ambas as farinhas (FT e FTGI) estão dentro do limite de umidade estipulado na Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005 (BRASIL, 2011b), o qual não deve ser superior a 15 %, pois influencia na conservação da qualidade do produto, sendo um dos principais fatores que aceleram as reações químicas e enzimáticas e o

crescimento de micro-organismos. Os teores de proteína (11,74 %) e de cinzas (0,40 %) de FT também estão de acordo com a legislação, que estipula teor mínimo de 7,5 % de proteína e máximo de 0,8 % de cinzas, para uma farinha de trigo Tipo 1 (BRASIL, 2011a).

Tabela 2. Composição centesimal das farinhas de trigo (FT) e de grão inteiro (FTGI)

| Componente (%) | FT | FTGI |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Umidade | 11,29 ± 0,18 ^b | 11,62 ± 0,12 ^a |
| Proteínas | 11,74 ± 0,06 ^b | 13,76 ± 0,07 ^a |
| Cinzas | 0,40 ± 0,01 ^b | 1,44 ± 0,04 ^a |
| Lipídeos | 0,73±0,08 ^b | 1,72±0,33 ^a |
| Carboidratos totais* | 75,84 | 71,46 |
| Fibra alimentar | 1,28±0,19 ^b | 10,74±0,97 ^a |

Média de 3 determinações ± desvio padrão. *Calculados por diferença, incluem a fração fibra alimentar. Médias com letras distintas na mesma linha demonstram diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O teor de proteínas (13,76 %) e de cinzas (1,44 %) foi superior na FTGI. Embora a Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005 (BRASIL, 2011a) não estabeleça padrões para farinha de trigo de grão inteiro, esta se encontra dentro dos limites estipulados para farinha de trigo como integral, ou seja, mínimo de 8,0 % proteínas e máximo de 2,5 % cinzas. Contudo, apesar do alto conteúdo de proteínas, a quantidade de glúten apresenta-se diluída, pois além das proteínas do glúten, há também proteínas presentes na camada de aleurona, farelo e gérmen, conhecidas como albuminas e globulinas, que apresentam alto valor nutricional, porém, pequeno valor tecnológico, o que pode prejudicar a qualidade do produto final (POSNER; HIBBS, 1999).

O conteúdo de cinzas é diretamente relacionado com o grau de extração (ou rendimento), no caso da farinha refinada. Teores elevados tendem a proporcionar uma coloração mais escura, o que é inadequado para produção de massas alimentícias convencionais (HOSENEY, 1998) e prejudicam a qualidade de cocção (CIACCO; CHANG, 1986).

Os teores de lipídios e fibra alimentar total foram maiores na FTGI, o que era previsto, pois a FTGI contém o gérmen, rico em lipídios, e o farelo, rico em fibras, os quais são eliminados no processo de moagem para a obtenção de

farinha refinada. O conteúdo de fibra alimentar total para ambas as farinhas (FT e FTGI) mostrou-se dentro dos limites descritos na Tabela de Composição de Alimentos - TACO (2011), Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TBCAUSP (2011) e Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América - USDA (2011). Vale salientar, que a FTGI apresenta teor de fibra alimentar 8,5 vezes superior à farinha refinada utilizada nesse estudo, superior também à FTGI utilizada por Silva (2007) que continha 9,13 %.

3.1.2 Granulometria

Os valores de granulometria de FT e FTGI são apresentados na Tabela 3. Com exceção da peneira com abertura de 0,840 mm, todas as demais diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) entre si. Aproximadamente 95 % das partículas da FT apresentaram uma granulometria inferior a 0,250 mm. De acordo com a Instrução Normativa n° 8, de 02 de junho de 2005 (BRASIL, 2011a), uma farinha de trigo que apresente mais de 95 % das partículas menores que 0,250 mm, teor de cinza de no máximo 0,8 % e proteína de no mínimo 7,5 %, é classificada como uma farinha de trigo Tipo 1, foi o caso da FT deste estudo.

A granulometria de FTGI é variável, devido principalmente à presença das camadas mais externas do grão, que tendem a permanecer como partículas maiores e mais grossas. Em torno de 69 % das partículas são inferiores a 250 μ m. A legislação vigente não cita o limite de granulometria de farinha integral e de farinha de trigo de grão inteiro.

Tabela 3. Distribuição granulométrica das farinhas de trigo (FT) e de grão inteiro (FTGI)

| Mesh | Abertura (mm) | FT | FTGI |
|-------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 20 | 0,840 | 0,32 \pm 0,04 ^a | 0,36 \pm 0,03 ^a |
| 35 | 0,500 | 0,48 \pm 0,10 ^b | 0,68 \pm 0,03 ^a |
| 60 | 0,250 | 3,07 \pm 0,72 ^b | 29,83 \pm 0,22 ^a |
| 80 | 0,177 | 13,36 \pm 0,35 ^b | 21,26 \pm 0,37 ^a |
| 100 | 0,149 | 6,99 \pm 0,53 ^b | 18,52 \pm 0,35 ^a |
| Fundo | - | 75,15 \pm 1,21 ^a | 29,51 \pm 0,39 ^b |

Média de 3 determinações \pm desvio padrão. Médias com letras distintas na mesma linha demonstram diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.1.3 Cor

Na Tabela 4, verificou-se que as farinhas diferiram entre si ($p < 0,05$) em relação à cor nos três parâmetros analisados, e a FTGI apresentou menor luminosidade (L^*) devido à presença das camadas externas do grão. Aumentou a tonalidade avermelhada (valor de a^*) e diminuiu a cor amarela (valor b^*) de FTGI.

Tabela 4. Valores dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) das farinhas de trigo (FT) e de grão inteiro (FTGI)

| Amostra | L^* | a^* | b^* |
|---------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| FT | 96,51±0,46 ^a | 0,53±0,33 ^b | 42,86±0,77 ^a |
| FTGI | 82,66±0,46 ^b | 4,58±0,46 ^a | 15,73±0,46 ^b |

Média de 3 determinações ± desvio padrão. Médias com letras distintas na mesma coluna demonstram diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.1.4 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A análise de DSC mede o fluxo de calor em função da temperatura. O amido, quando aquecido em excesso de água, produz um pico endotérmico (Figura 1). A perda de birrefringência começa a ocorrer no começo do pico, onde a curva é desviada da linha base. A área sob a curva é a energia requerida para a transição de um estado ordenado para um desordenado, denominada entalpia de gelatinização, no caso do amido (HOSENEY, 1998).

Os termogramas obtidos na análise de DSC da FT e FTGI demonstraram valores de temperatura inicial de gelatinização (T_o) de 54,59±0,37 e 55,59±0,43 °C, temperatura de pico (T_p) de 59,75±0,53 e 62,49±0,19 °C, temperatura final de gelatinização (T_f) de 65,92±0,58 e 66,10±0,48 °C e entalpia de gelatinização (ΔH) de 4,52±0,06 e 4,36±0,21 J.g⁻¹, respectivamente. Os valores mais elevados para FTGI podem ser justificados pelo fato de que as fibras absorvem água (CHILLO et al., 2008), assim, tem-se menos água disponível para gelatinizar o amido, aumentando a temperatura de gelatinização. Os valores foram muito próximos aos observados por Vernaza (2011) para farinha de trigo, que encontrou 54,42 °C, 60,41 °C, 66,08 °C e 4,45 J.g⁻¹, respectivos a T_o , T_p , T_f e ΔH .

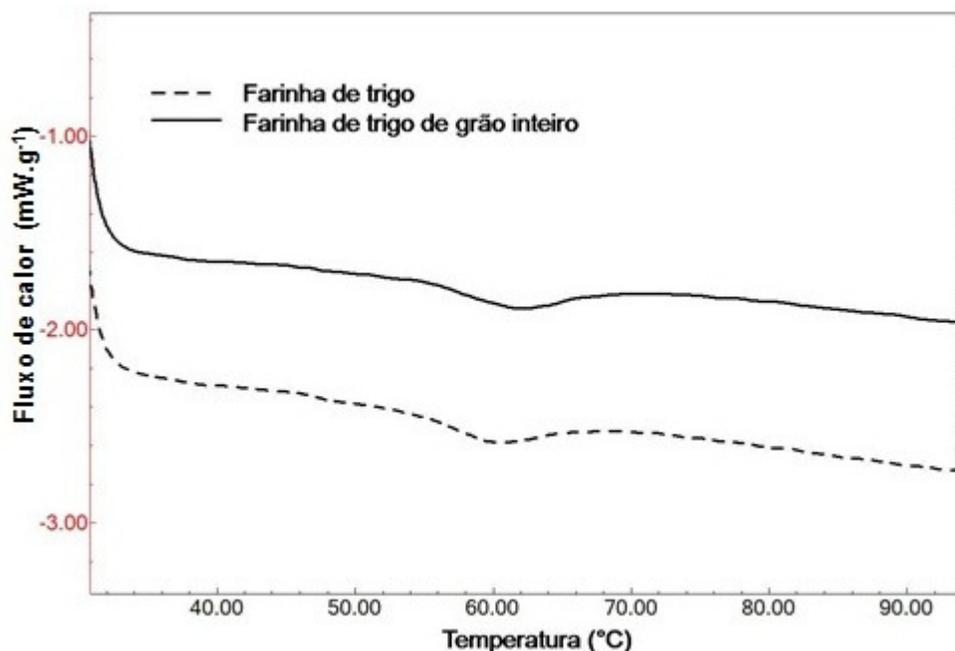


Figura 1. Termograma de calorimetria diferencial de varredura da farinha de trigo (FT) e farinha de trigo de grão inteiro (FTGI).

A temperatura de gelatinização obtida nas curvas do termograma do DSC foi definida, nesse estudo, como a temperatura de pico (T_p). Conforme Hosney (1998), a faixa de gelatinização do amido de trigo encontra-se entre os 55 °C e 65 °C, o que pode ser visualizado no gráfico acima, onde as temperaturas de gelatinização de FT e FTGI são de aproximadamente 60 e 61 °C, respectivamente.

3.2 Caracterização reológica das matérias-primas

3.2.1 Farinografia

As características farinográficas das FT e FTGI são apresentadas na Tabela 5, onde se verificou que apenas o índice de tolerância à mistura não apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) entre as farinhas. A FTGI resultou no incremento da absorção de água e tempo de chegada, e diminuição do tempo de desenvolvimento, tempo de saída e estabilidade. Comportamento semelhante foi observado em FTGI utilizada em trabalhos de Silva (2007) e Almeida, Chang e Steel (2010). A farinha de trigo usada neste estudo apresentou parâmetros similares aos encontrados por Almeida, Chang e Steel (2010) e Vernaza (2011).

Tabela 5. Características farinográficas das farinhas de trigo (FT) e de grão inteiro (FTGI)

| Parâmetros* | FT | FTGI |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Absorção de água (%) | 63,33 | 64,67 |
| Tempo de chegada (min) | 2,00±<0,01 ^b | 5,17±0,24 ^a |
| Tempo de desenvolvimento (min) | 11,17±0,24 ^a | 7,67±0,47 ^b |
| Tempo de saída (min) | 15,83±0,62 ^a | 11,83±0,24 ^b |
| Estabilidade (min) | 13,83±0,62 ^a | 6,67±0,24 ^b |
| Índice de tolerância à mistura (UF)** | 30,00±<0,01 ^a | 33,33±4,71 ^a |

*Médias de 3 determinações ± desvio padrão; **UF= Unidades Farinográficas. Médias com letras distintas na mesma linha demonstram diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

O aumento na absorção de água era esperado pela maior capacidade de retenção de água das fibras. Um tempo de chegada extremamente curto indica que a hidratação ocorre rapidamente, enquanto que um maior tempo de chegada indica que a água está sendo absorvida por outros componentes presentes na farinha, o que justifica o resultado desse estudo (ALMEIDA; CHANG; STEEL, 2010).

De acordo com Pizzinatto (1999), FT pode ser classificada, no geral, como uma farinha forte, pela absorção de água (> 58), tempo de desenvolvimento (> 10, muito forte), estabilidade (8 a 15) e índice de tolerância à mistura (15 a 50). Em relação à FTGI, Jaekel et al. (2010) estudaram a substituição de farinha de trigo por farelo de trigo e por FTGI e verificaram que há necessidade de se estipular novos limites para os parâmetros farinográficos voltados para de farinha integral.

3.2.2 Atividade diastásica

Falling number ou número de queda avalia a atividade enzimática, principalmente da α -amilase. Os valores encontrados para FT e FTGI foram de 446,67 ± 9,10 e 474,50 ± 1,12 segundos, respectivamente, diferindo estatisticamente entre si ($p<0,05$). O maior valor de FTGI pode ser devido ao menor teor de amido, devido à presença de outros constituintes nessa farinha. As fibras, além de aumentar a viscosidade do meio, dificultam o acesso da enzima ao amido e a descida da haste, aumentando o tempo de análise. *Falling number* de 250 s indica uma farinha com atividade ideal de α -amilase para panificação, 65 s indica alta atividade de α -amilase e valores na faixa de 400 s, indicam pouca

atividade de α -amilase para panificação (POSNER; HIBBS, 1999). Segundo Pizzinatto (1999), farinhas com valores superiores a 300 s são adequadas para a produção massas alimentícias, pois baixa atividade enzimática ajuda a manter a qualidade do produto, tanto em textura como em tolerância ao cozimento.

3.2.3 Características viscoamilográficas

Os resultados apresentados na Tabela 6 para as características viscoamilográficas indicam que todos os parâmetros diferiram estatisticamente ($p < 0,05$). Os dados obtidos na análise de RVA indicaram um rápido aumento de viscosidade durante a fase de aquecimento devido ao inchamento do grânulo de amido, lixiviação da amilose e absorção de água. A agitação e temperatura constante promovem uma queda da viscosidade em função do rompimento dos grânulos de amido e orientação da amilose e amilopectina no sentido da agitação. O resfriamento posterior ocasiona a redução da energia do sistema e a formação de ligações de hidrogênio entre as cadeias laterais de amido, com a recristalização e conseqüente aumento da viscosidade, também denominado de retrogradação, conforme descrito por Huang e Rooney (2001).

Tabela 6. Propriedades viscoamilográficas das farinhas de trigo (FT) e de grão inteiro (FTGI)

| Parâmetros* | FT | FTGI |
|--|----------------------------|----------------------------|
| Temperatura de pasta (°C) | 66,2±0,08 ^b | 76,17±6,51 ^a |
| Viscosidade máx. a quente. (cP) | 2090,67±4,92 ^a | 2005±38,61 ^b |
| Viscosidade mín. à temperatura constante 95°C (cP) | 1018,67±12,55 ^b | 1135±56,79 ^a |
| Viscosidade final (cP) | 2248,67±66,78 ^b | 2630,33±82,13 ^a |
| Queda de viscosidade (cP) | 1072±17,28 ^a | 870±41,30 ^b |
| Tendência à retrogradação (cP) | 1256±34,77 ^b | 1495,33±25,49 ^a |

*Médias de 3 determinações \pm desvio padrão. Médias com letras distintas na mesma linha demonstram diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A FTGI apresentou viscosidade máxima a quente e queda de viscosidade menores que FT, o que ocorre devido à presença de fibras, que competem com o amido pela água aumentando a temperatura de gelatinização (CHEN et al., 2011). No caso do primeiro parâmetro, ocorre a diluição do amido da farinha, devido à presença de fibras e lipídios, e a viscosidade máxima ocorre com o inchaço

máximo dos grânulos de amido. A menor queda de viscosidade na amostra com maior teor de fibras pode ser explicada pelo menor realinhamento das cadeias de amilose devido à barreira física causada pelas fibras (CHEN et al., 2011) e também, pela própria viscosidade que as fibras conferem ao meio.

3.3 Sistema farinha de trigo, farinha de trigo de grão inteiro e transglutaminase

A absorção de água é um parâmetro muito importante na obtenção de uma boa hidratação durante o processamento de massas alimentícias. O nível de absorção durante a mistura pode afetar a viscosidade da massa, o processo de extrusão, a secagem e a qualidade do produto final. A hidratação incompleta da mistura pode resultar na formação de manchas brancas e tendência à rachadura, enquanto que, hidratação em excesso pode resultar em uma massa pegajosa, com baixa resistência mecânica e propriedades de cozimento inferiores (YALLA; MANTHEY, 2006).

A maioria das fibras tem alta capacidade de retenção de água, o que aumenta absorção das formulações onde são usadas (CHO; DREHER, 2001). Na Tabela 7, encontram-se as características farinográficas das pré-misturas para as massas alimentícias estudadas neste trabalho. No geral, observou-se que a adição de FTGI ocasionou um aumento na absorção nos ensaios estudados em relação à farinha de trigo (63,3 %) (Tabelas 5 e 7).

Os valores obtidos para absorção de água, tempo de chegada, tempo de saída e estabilidade (Tabela 8) das misturas estudadas no DCCR variaram de, respectivamente, 63,6 a 64,3 %, 2 a 2,5 min, 13,5 a 16,5 min e 4,7 a 6,7 min. No entanto, esses parâmetros apresentaram baixos valores de coeficiente de determinação de 46,32, 35,40, 61,50 e 49,80 %, $F_{\text{calculado}}$ 0,67, 1,76, 2,39 e 1,48 vezes maior que F_{tabelado} e p-valor de 0,474, 0,041, 0,014 e 0,045, respectivos para a absorção de água, tempo de chegada e de desenvolvimento, o que não permitiu a geração do modelo preditivo matemático e da superfície de resposta.

Tabela 7. Características farinográficas dos ensaios estudados no DCCR

| Amostras | Níveis reais | | AA | TC | TD | TS | E | ITM |
|----------|----------------|----------------|------|-----|------|------|-----|-----|
| | X ₁ | X ₂ | | | | | | |
| 1 | 58,12 | 0,07 | 63,6 | 2 | 11 | 15 | 6,7 | 30 |
| 2 | 92,88 | 0,07 | 63,8 | 2 | 11,5 | 14 | 4,7 | 65 |
| 3 | 58,12 | 0,43 | 63,7 | 2 | 10,5 | 15,5 | 6 | 30 |
| 4 | 92,88 | 0,43 | 63,8 | 2,5 | 12,5 | 15 | 6 | 60 |
| 5 | 51 | 0,25 | 63,6 | 2 | 11 | 16,5 | 6 | 30 |
| 6 | 100 | 0,25 | 63,8 | 2,5 | 9 | 14,5 | 5,5 | 0 |
| 7 | 75,5 | 0 | 64,3 | 2 | 11 | 13,5 | 5,5 | 20 |
| 8 | 75,5 | 0,5 | 63,8 | 2 | 11 | 15,5 | 5,5 | 35 |
| 9 | 75,5 | 0,25 | 64,1 | 2 | 12 | 15 | 5,5 | 50 |
| 10 | 75,5 | 0,25 | 64 | 2 | 12 | 15,5 | 5,5 | 50 |
| 11 | 75,5 | 0,25 | 64,2 | 2 | 11,5 | 15,5 | 5,5 | 45 |
| 12 | 75,5 | 0,25 | 63,9 | 2 | 11,5 | 15 | 5,5 | 50 |

X₁ e X₂: níveis reais de farinha de trigo de grão inteiro e de transglutaminase, respectivamente.

AA: absorção de água (%); TC: tempo de chegada (min); TD: tempo de desenvolvimento (min); TS: tempo de saída (min); E: estabilidade (min); ITM: índice de tolerância à mistura (UF – unidade farinográficas).

O tempo de desenvolvimento dos ensaios oscilou entre 9,0 e 12,5 min. O termo linear de FTGI e os termos linear e quadrático de TG apresentaram influência para esta resposta. Foi possível gerar superfície de resposta ($R^2 = 81,03$ %, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 3,90$ e $p\text{-valor} = 0,003$), validando o modelo matemático preditivo de 2ª ordem (Equação 2) e possibilitando a geração da superfície de resposta, a qual indicou que maiores valores deste parâmetro foram obtidos nos limites inferior de FTGI (51 %) e superior de TG (0,5) (Figura 2). O que se mostrou dentro do esperado, pois farinhas com adição de fibras necessitam de maior tempo para desenvolvimento da massa.

$$\text{Equação 2: } Y = 7,925 - 0,276 x_1 + 0,151 x_2 + 0,176 x_2^2$$

Yalla e Manthey (2006), em estudo com espaguete de diferentes tipos de semolina adicionados de 20 % de farelo, encontraram valores entre 4,1 e 7,5 min para o tempo de desenvolvimento.

O índice de tolerância à mistura variou de 0 a 65 UF. Em vista dos resultados obtidos na análise de variância ($R^2 = 88,74$ %, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 4,66$ e $p\text{-valor} = 0,001$), foi possível apresentar o modelo matemático preditivo de 2ª ordem (Equação 3), e gerar a superfície de resposta (Figura 2), que permitiu

visualizar que as melhores condições para esta propriedade tecnológica encontram-se com, aproximadamente, 80 % de FTGI e 0,30 % de TG, pois menores valores de ITM são indicados para farinhas para elaboração de massas alimentícias.

$$\text{Equação 3: } Y = 29,993 - 3,761 x_1 + 10,662 x_1^2 - 4,789 x_2 + 10,662 x_2^2$$

A farinha de trigo refinada contém maior teor de gliadinas e glutenina, as quais, na presença de água e energia mecânica, formam a rede de glúten. A aplicação da FT na produção de vários produtos é influenciada principalmente pela quantidade e qualidade destas proteínas. Por isso, a adição de FTGI (maiores teores de fibras e lipídeos) alterou as características da FT, como foi visto nos resultados.

3.4 Avaliação das massas alimentícias

3.4.1 Cor

Na Tabela 8, encontram-se os parâmetros correspondentes à cor das massas alimentícias estudadas no DCCR.

Tabela 8. Valores dos parâmetros de cor, L*, a*, b* e ΔE das massas alimentícias cruas

| Amostras | Níveis reais | | L* | a* | b* | ΔE |
|-------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|------------|
| | X ₁ | X ₂ | | | | |
| Controle FT | - | - | 57,53±0,45 | 9,43±0,09 | 36,10±0,38 | - |
| 1 | 58,12 | 0,07 | 36,23±0,57 | 13,66±0,41 | 22,78±0,50 | 25,46±0,25 |
| 2 | 92,88 | 0,07 | 32,86±0,97 | 12,89±0,14 | 22,03±0,67 | 28,62±0,92 |
| 3 | 58,12 | 0,43 | 36,50±0,55 | 13,49±0,13 | 21,41±0,71 | 25,98±0,65 |
| 4 | 92,88 | 0,43 | 31,59±0,75 | 12,72±0,33 | 17,28±0,07 | 32,23±0,53 |
| 5 | 51 | 0,25 | 37,04±0,18 | 14,39±0,13 | 22,66±0,60 | 25,01±0,15 |
| 6 | 100 | 0,25 | 31,82±0,27 | 11,94±0,20 | 16,23±0,30 | 32,59±0,27 |
| 7 | 75,5 | 0 | 32,25±0,38 | 13,02±0,32 | 17,34±0,16 | 31,68±0,22 |
| 8 | 75,5 | 0,5 | 33,65±1,00 | 12,68±0,16 | 17,69±0,19 | 30,34±0,55 |
| 9 | 75,5 | 0,25 | 33,29±0,67 | 13,46±0,09 | 18,63±0,17 | 30,16±0,39 |
| 10 | 75,5 | 0,25 | 34,13±0,16 | 12,33±0,61 | 18,26±0,06 | 29,57±0,10 |
| 11 | 75,5 | 0,25 | 33,85±0,39 | 13,16±0,21 | 18,15±0,22 | 30,34±0,24 |
| 12 | 75,5 | 0,25 | 33,34±0,46 | 12,35±0,22 | 17,97±0,16 | 30,37±0,30 |

X₁ e X₂: níveis reais de farinha de trigo de grão inteiro e de transglutaminase, respectivamente. Medias de 3 determinações ± desvio padrão.

Os valores para o parâmetro L^* dos ensaios do delineamento variaram entre 31,59 e 37,04. Os termos linear e quadrático da FTGI apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) sobre esta variável, obtendo-se um modelo matemático preditivo de 2ª ordem, descrito na Equação 4. Através da ANOVA ($R^2 = 88,56\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 14,47$ e $p\text{-valor} < 0,001$) foi possível gerar superfície de resposta (Figura 2), indicando que a luminosidade diminui com o aumento de FTGI, conforme esperado, pois a coloração mais escura da FTGI resulta na diminuição de L^* dos produtos finais.

$$\text{Equação 4: } Y = 33,492 - 1,961 x_1 + 0,583 x_1^2$$

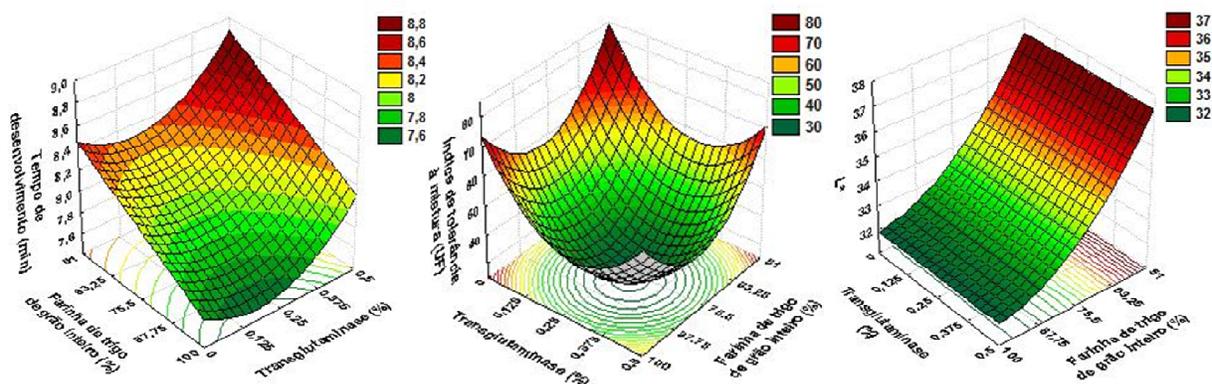


Figura 2. Superfícies de resposta do tempo de desenvolvimento, índice de tolerância à mistura e L^* .

Os parâmetros a^* , b^* e ΔE (Tabela 8) dos ensaios do delineamento variaram, respectivamente, de 11,94 a 14,39, 16,23 a 22,78 e de 25,01 a 32,59, entretanto não foram influenciados ($p < 0,10$) por nenhum dos termos das variáveis independentes usados no delineamento. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de apenas 44,53, 67,67 e 68,61 %, $F_{\text{calculado}}$ 0,89, 0,81 e 4,15 vezes maior que F_{tabelado} (5;6;0,90) e $p\text{-valor}$ de 0,124, 0,147 e 0,001, respectivos a a^* e b^* e ΔE , impossibilitando a elaboração do modelo matemático preditivo e a geração da superfície de resposta.

A amostra controle apresentou maior luminosidade que as demais, mostrando a influência da presença de camadas externas do grão nas massas

alimentícias com adição de FTGI. Contudo, o consumidor normalmente associa produtos ricos em fibras com uma coloração mais escura. Chillo et al. (2008) em estudo com espaguete de semolina de trigo *durum* e farelo (20 %) encontraram valores inferiores de L* (28,72) e a* (8,31) e superior de b* (12,25).

3.4.2 Características de cozimento

Os valores obtidos para tempo ótimo de cozimento, perda de sólidos, aumento de peso e de volume das amostras de massas alimentícias estudadas no DCCR variaram de, respectivamente, 8,06 a 8,89 min, 4,09 a 4,70 %, 112,87 a 120,89 %, e de 229,06 a 254,50 (Tabela 9). No entanto, os efeitos das variáveis independentes não foram significativos devido aos coeficientes de determinação de 61,78, 23,24, 63,98 e 43,48 %, $F_{\text{calculado}}$ 2,42, 0,12, 0,68 e 0,30 vezes maior que F_{tabelado} e p-valor de 0,013, 0,857, 0,192 e 0,525, respectivamente, o que não permitiu a geração do modelo matemático e da superfície de resposta.

Tabela 9. Tempo ótimo de cozimento (TOC), perda de sólidos (PS), aumento de peso (AP) e aumento de volume (AV) das massas alimentícias

| Amostras | Níveis reais | | TOC (min) | PS (%) | AP (%) | AV (%) |
|-------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| | X ₁ | X ₂ | | | | |
| Controle FT | - | - | 9,02±0,02 | 3,78±0,15 | 125,25±3,28 | 238,15±0,00 |
| 1 | 58,12 | 0,07 | 8,64±0,04 | 4,11±0,13 | 121,32±1,34 | 246,41±0,06 |
| 2 | 92,88 | 0,07 | 8,08±0,07 | 4,33±0,10 | 120,89±1,87 | 254,50±0,06 |
| 3 | 58,12 | 0,43 | 8,70±0,01 | 4,36±0,23 | 120,12±0,64 | 246,09±0,06 |
| 4 | 92,88 | 0,43 | 8,67±0,07 | 4,54±0,10 | 118,27±5,35 | 233,07±0,06 |
| 5 | 51 | 0,25 | 8,45±0,04 | 4,34±0,23 | 117,07±2,19 | 233,51±0,06 |
| 6 | 100 | 0,25 | 8,74±0,01 | 4,48±0,10 | 119,35±1,47 | 250,01±0,00 |
| 7 | 75,5 | 0 | 8,06±0,10 | 4,39±0,03 | 115,11±1,20 | 229,06±0,06 |
| 8 | 75,5 | 0,5 | 8,45±0,07 | 4,36±0,08 | 114,77±1,44 | 233,17±0,06 |
| 9 | 75,5 | 0,25 | 8,67±0,04 | 4,70±0,05 | 114,44±5,03 | 242,40±0,06 |
| 10 | 75,5 | 0,25 | 8,58±0,07 | 4,09±0,14 | 114,56±0,97 | 242,32±0,06 |
| 11 | 75,5 | 0,25 | 8,78±0,07 | 4,19±0,15 | 112,87±3,83 | 229,31±0,06 |
| 12 | 75,5 | 0,25 | 8,89±0,04 | 4,27±0,03 | 112,97±1,03 | 233,19±0,06 |

X₁ e X₂: níveis reais de farinha de trigo de grão inteiro e de transglutaminase, respectivamente. Média de 3 determinações ± desvio padrão.

O tempo ótimo de cozimento das amostras de espaguete com adição de FTGI foi menor que o controle, o que está de acordo com os dados obtidos por Manthey e Hall (2007) e Chillo et al. (2008) em espaguetes com adição de farelo. De acordo com Chillo et al. (2008), isso ocorreu devido as fibras, que podem

causar a ruptura da rede de glúten facilitando a absorção de água pelo amido, o que resultou em menor tempo de cozimento (CHILLO et al., 2008). A maior granulometria de FTGI também pode prejudicar a estrutura do glúten e facilitar a absorção de água.

Como consequência disso, também pode ocorrer um aumento na perda de sólidos, fato constatado neste estudo, onde todos os ensaios apresentam valores mais elevados que o controle. O mesmo comportamento foi observado em outros estudos com adição de fibras (MANTHEY; HALL, 2007; CHILLO et al., 2008; SUDHA et al., 2011). Porém, o efeito da enzima transglutaminase foi verificado por Takács, Gelencsér e Kovács (2008) em massas alimentícias tradicionais, causando redução da perda de sólidos, devido à nova rede proteica formada, aumentando a quantidade de subunidades da proteína de alto peso molecular, dificultando a lixiviação do amido. No presente estudo não foi possível verificar tal efeito, possivelmente por tratar-se do uso de uma matéria-prima com alto teor de fibras, o que diminui o teor de ácido glutâmico e lisina disponível na farinha para a enzima atuar. Além disso, a granulometria maior de FTGI, pela presença das camadas externas do grão, pode dificultar a interação entre as proteínas.

A perda de sólidos de todas as amostras foi bastante inferior aos valores encontrados em estudo com adição de diferentes percentuais de farelo (10 a 20 %) em espaguete à base de semolina de trigo *durum*, com valores entre 6,1 e 8,7 % (CHILLO et al., 2008). Sudha et al. (2011) estudaram a adição de farelo (40 e 50 %) em massas alimentícias e obtiveram maiores valores para aumento de peso e perda de sólidos, os quais variaram de 257,6 a 268,4 % e 9,3 e 16,1 %, respectivamente.

Em estudo com adição de diferentes níveis de transglutaminase (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 %), em espaguetes de trigo *durum* de duas cultivares (PDW 274 e MACS 1967), foi observado efeito positivo da enzima apenas para a cultivar PDW 274, onde a perda de sólidos foi menor que na amostra padrão até a concentração de 1,5 % de enzima. Os autores explicam que tal resultado é devido ao alto grau de ligações cruzadas em proteínas do glúten com a adição de 2 % TG, o que pode ter diminuído as interações proteína-amido, levando a uma maior lixiviação de amido

na água de cozimento, em relação à adição de 1,5 % de TG. O aumento de peso diminuiu com a adição da enzima, para ambas cultivares, e foi inferior a amostra padrão (AALAMI; LEELAVATHI, 2008).

Wu e Corke (2005), estudando o efeito de TG em *noodles*, verificaram que a perda de sólidos não foi influenciada pela enzima, porém, o aumento de peso reduziu significativamente nos produtos adicionados da enzima. Nesse estudo, o aumento de peso dos ensaios também foi inferior à amostra controle, apesar da presença de fibras. Este resultado pode estar associado a um efeito da enzima, que torna a estrutura mais compacta. A formação de ligações cruzadas entre o glutamato e a lisina, pode ter diminuído o número de aminoácidos hidrofílicos, resultando em menor exposição das ligações hidrofílicas à água de cozimento. Portanto, menos moléculas de água foram absorvidas, e conseqüentemente, o aumento de peso foi reduzido (WU; CORKE, 2005).

3.4.3 Características de textura e solubilidade de proteínas

As características de textura e solubilidade de proteínas estão expostas na Tabela 10. Os valores de firmeza, adesividade e elasticidade dos ensaios variaram de 5,62 a 7,45 N, 0,64 a 3,19 N, 0,24 a 0,32 N, respectivamente. As variáveis independentes não tiveram efeito nestes parâmetros, apresentando coeficiente de determinação de 55,88, 64,54, 49,67 %, $F_{\text{calculado}}$ 0,4887, 0,7022 e 0,3808 vezes maior que $F_{\text{tabelado}} (5,6;0,90)$ e p-valor de 0,310, 0,185 e 0,415, respectivos a firmeza, adesividade e elasticidade, o que não permitiu a geração do modelo matemático e superfície de resposta.

No geral, os ensaios apresentaram maiores valores de firmeza e elasticidade que a amostra controle, fato que pode ser explicado pela adição de TG, que forma uma rede de glúten mais compacta devido à formação de ligações cruzadas (WU; CORKE, 2005; TAKÁCS; GELENCSEÉR; KOVÁCS, 2008). Basman, Koksel e Atli (2006) também encontraram maiores valores de firmeza com o incremento de TG em espaguete suplementados com farelo. Os valores de firmeza e elasticidade obtidos nesse estudo foram similares aos encontrados por Chen et al. (2011) em *noodles* com adição de farelo de trigo. Em estudo com

massas alimentícias enriquecidas com fibra alimentar, Tudoricã, Kuri e Brennan (2002) relataram uma tendência para a redução da adesividade com o aumento da concentração de fibras, o que também foi observado nesse estudo.

Tabela 10. Características de textura e solubilidade das proteínas das massas alimentícias

| Amostras | Níveis reais | | Firmeza* (N) | Adesividade* (N) | Elasticidade* (N) | Proteína Solúvel* (%) |
|-------------|----------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | X ₁ | X ₂ | | | | |
| Controle FT | - | - | 5,96±0,23 | 2,09±0,24 | 0,25±0,03 | 82,00±0,89 |
| 1 | 58,12 | 0,07 | 5,62±0,25 | 3,19±0,45 | 0,25±0,03 | 86,72±0,52 |
| 2 | 92,88 | 0,07 | 5,62±0,14 | 1,50±0,41 | 0,27±0,03 | 78,66±0,49 |
| 3 | 58,12 | 0,43 | 5,81±0,48 | 1,37±0,16 | 0,28±0,02 | 81,76±0,53 |
| 4 | 92,88 | 0,43 | 6,78±0,29 | 0,87±0,12 | 0,32±0,03 | 76,75±1,16 |
| 5 | 51 | 0,25 | 5,84±0,39 | 1,81±0,18 | 0,26±0,03 | 84,26±0,78 |
| 6 | 100 | 0,25 | 7,45±0,59 | 0,64±0,10 | 0,32±0,03 | 82,00±1,85 |
| 7 | 75,5 | 0 | 6,54±0,56 | 0,92±0,22 | 0,27±0,02 | 86,76±0,37 |
| 8 | 75,5 | 0,5 | 7,01±0,53 | 1,61±0,15 | 0,30±0,03 | 82,60±0,69 |
| 9 | 75,5 | 0,25 | 6,18±0,52 | 0,72±0,14 | 0,24±0,02 | 82,56±0,69 |
| 10 | 75,5 | 0,25 | 6,77±0,42 | 0,92±0,18 | 0,31±0,03 | 83,40±0,33 |
| 11 | 75,5 | 0,25 | 6,49±0,35 | 0,86±0,09 | 0,24±0,03 | 79,49±1,75 |
| 12 | 75,5 | 0,25 | 6,16±0,39 | 0,86±0,25 | 0,30±0,03 | 80,25±0,69 |

X₁ e X₂: níveis reais de farinha de trigo de grão inteiro e de transglutaminase, respectivamente.

*Medias de 15 determinações ± desvio padrão; **Medias de 3 determinações ± desvio padrão.

A solubilidade das proteínas (Tabela 10) encontra-se entre 76,75 e 86,72 %, na faixa estudada. Devido ao valor do coeficiente de determinação (32,95 %), $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}(2;9;0,10)}$ (1,49) e p-valor (0,051) não foi possível a geração do modelo matemático e da superfície de resposta. Porém, é notável a diferença de solubilidade entre os ensaios 1 e 3, 2 e 4, e, 7 e 8, onde os ensaios com maior teor de TG (3, 4 e 8) apresentaram redução nesse parâmetro. Isso está associado ao fato de que nesses últimos ensaios pode ter ocorrido maior formação de ligações cruzadas covalentes não dissulfetos, e estes polímeros são insolúveis em solução tampão contendo 5 % de β -mercaptoetanol (AALAMI; LEELAVATHI, 2008). Estes mesmos autores, estudando o efeito de transglutaminase (0 a 3 %) em espaguete de semolina, verificaram que a solubilidade das proteínas diminuiu com o incremento de enzima devido à formação de ligações cruzadas.

3.4.4 Fibra alimentar total

Os valores de fibra alimentar total das massas alimentícias cruas ficaram entre 7,04 e 12,39 %. Considerando que o aumento de peso durante o cozimento das formulações de espaguete estudadas no delineamento estatístico foi, em média, de 117,64 % (Tabela 9), esses valores no produto cozido ficam entre 3,23 e 5,69 %. Sendo assim, todos os produtos desenvolvidos nesse estudo são de grande importância em termos fisiológicos, podendo conter a alegação de fonte de fibras, conforme a Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998, onde consta que produtos prontos para o consumo contendo mais de 3 % de fibra alimentar por 100 g de produto são considerados fonte de fibra (BRASIL, 2011b).

As fibras alimentares têm seu reconhecimento como alimentos funcionais pelas diversas ações no organismo, como bom funcionamento do intestino, perda de peso; podem diminuir os sintomas crônicos de constipação e doenças cardiovasculares (CHO; DREHER, 2001). As fibras atuam no sentido de melhorar o trânsito intestinal pela maior absorção de água nas fezes (ARAVIND et. al, 2012). E ainda, a menor permanência do bolo fecal no intestino e/ou o arraste de substâncias carcinogênicas está associado com a diminuição da incidência de câncer de cólon e reto (CHEN; LIN; WANG, 2010).

4 CONCLUSÕES

A farinha de grão inteiro apresentou efeito significativo nos parâmetros farinográficos e na cor (L*). O tempo de desenvolvimento e a luminosidade (L*) diminuíram com incremento de FTGI e os menores valores de índice de tolerância à mistura foram em, aproximadamente, 80 % de FTGI. A enzima transglutaminase influenciou significativamente o tempo de desenvolvimento, o qual foi maior com o maior teor de enzima (0,5 %) e o índice de tolerância à mistura, onde os menores valores encontram-se no ponto central do planejamento (0,25 %).

As características de cozimento e de textura não foram influenciadas significativamente por FTGI e TG, o que pode ser atribuído ao fato de que a quantidade de água utilizada na preparação de massas alimentícias é baixa,

comparada aos produtos de panificação, além disso, esse produto tem um curto tempo de preparo.

Contudo, foi possível obter produtos de qualidade tecnológica similares ao controle tanto para características de cozimento quanto de textura. Além disso, foram desenvolvidos produtos de grande importância em termos funcionais, todos caracterizados como fontes de fibra (mínimo 3 g de fibra alimentar total por 100 g do produto pronto para o consumo).

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP, CAPES, *National Starch*, *Bunge*, *Ajinomoto*, Pastifício Selmi e Embrapa Agroindústria de Alimentos – CTAA.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved methods. 11 ed. St. Paul: AACC, 2010.

AALAMI, M.; LEELAVATHI, K. Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 5, p. 306-312, 2008.

ABIMA - **Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias**. Disponível em: <<http://www.abima.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

ALMEIDA, E.L.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Effect of adding different dietary fiber sources on Farinographic parameters of wheat flour. **Cereal Chemistry**, v.87, n.6, p.566-573, 2010.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis Association of Official Analytical Chemists**, 16 ed., 3. rev. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

ARAVIND, N.; SISSONS, M.; EGAN, N.; FELLOWS, C. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v.130, n.2, p.299-309, 2012.

BASMAN, A.; KOKSEL, H.; ATLI, A. Effects of increasing levels of transglutaminase on cooking quality of bran supplemented spaghetti. **European Food Research Technology**, v. 223, p. 547–551, 2006.

BASMAN, A.; KOKSEL, H.; NG, P. K. W. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours. **European Food Research Technology**, v. 215, p. 419-424, 2002.

BELLIDO, G. G.; HATCHER, D. W. Effects of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chinese-style noodles. **Food Chemistry**, v. 125, p. 813–822, 2011.

BRASIL. Ministério de Saúde. **Resolução**. Resolução RDC nº 19, de 30/04/1999. Aprova o Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa**. Instrução Normativa nº 8 de 02 de junho de 2005. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Farinha de Trigo. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 04 ago. 2011a.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria**. Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 05 de setembro de 2011b.

CHEN, H.L.; LIN, Y.M.; WANG, Y-C. Comparative effects of cellulose and soluble fibers (pectin, konjac glucomannan, inulin) on fecal water toxicity toward caco-2 cells, fecal bacteria enzymes, bile acid, and short-chain fatty acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, n.18, p.10277-10281, 2010.

CHEN, J.S.; FEI, M. J.; SHI, C. L.; TIAN, J. C.; SUN, C. L.; ZHANG, H.; MA, Z.; DONG, H. X. Effect of particle size and addition level of wheat bran on quality of dry white Chinese noodles. **Journal of Cereal Science**, v. 53, p. 217-224, 2011.

CHILLO, S; LAVERSE, J.; FALCONE, P. M.; PROTOPAPA, A.; DEL NOBILE, M. A. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. **Journal of Cereal Science**, v. 47, p. 144-152, 2008.

CHO, S.S.; CLARK, C. Wheat bran: physiological effects. In: CHO, S. S.; DREHER, M. L. (Eds.). **Handbook of dietary fiber**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001.

CHO, S. Functional and dietary fibers: An Introduction. In: CHO, S.S.; SAMUEL, P. (Eds) **Fiber Ingredients - Food Applications and Health Benefits**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2009.

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Como fazer massas**. Icone Editora e Editora da Unicamp, 1986, 127p.

COSTABILE, A.; KLINDER, A.; FAVA, F.; NAPOLITANO, A.; FOGLIANO, V.; LEONARD, C.; GIBSON, G. R.; TUOHY, K. M. Whole-grain wheat breakfast cereal has a prebiotic effect on the human gut microbiota: a double-blind, placebo-controlled, crossover study. **British Journal of Nutrition**, v. 99, p. 110-120, 2008.

DEBYSER, W.; PEUMANS, W. J.; VANDAMME, E. J. M.; DELCOUR, J. A. *Triticum aestivum* xylanase inhibitor (TAXI), a new class of enzyme inhibitor affecting breadmaking performance. **Journal of Cereal Science**, v. 30, p. 39–43, 1999.

DUBE, M.; SCHÄFER, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.. Texturisation and modification of vegetable proteins for food applications using microbial transglutaminase. **European Food Research and Technology**, v. 225, p. 287-299, 2007.

FIERENS, E.; ROMBOUTS, S.; GEBRUERS, K.; GOESAERT, H.; BRIJS, K.; BEAUGRAND, J.; VOLCKAERT, G.; VANCAMPENHOUT, S.; PROOST, P.; COURTIN, C. M.; DELCOUR, J. A. TLXI, a novel type of xylanase inhibitor from wheat (*Triticum aestivum*) belonging to the thaumatococcus family. **Biochemical Journal**, v. 403, p. 583–591, 2007.

FUENTES-ZARAGOZA, E.; RIQUELME-NAVARRETE, M.J.; SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International**, v. 43, p. 931-942, 2010.

HIRAWAN, R.; SER, W.Y.; ARNTFIELD, S.D.; BETA, T. Antioxidant properties of commercial, regular- and whole-wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v. 119, p. 258-264, 2010.

HOSENEY, C.A. Principles of Cereal Technology, second ed. **American Association of Cereal Chemists Inc.**, St Paul, Minnesota. 1998.

HUANG, D. P.; ROONEY, L. W. **Starches for snack foods**. In: LUSAS, E. W.; ROONEY, R. W. Snack foods processing. CRC Press, Boca Raton, p.115-136, 2001.

ICC - INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Rapid Pasting Method using the Newport Rapid Visco Analyser**. ICC Standard No. 162, Int. Association of Cereal Science and Technology. 1995.

JAEKEL, L. Z.; SCHMIELE, M.; PATRICIO, E.; STEEL, C. J.; CHANG, Y. K. Farinographic properties of wheat flour with partial substitution by wheat bran or whole grain wheat flour. In: **IFT 10 – Annual Meeting and Food Expo**. Chicago, 2010.

KURAIISHI, C.; YAMAZAKI, K.; SUSA, Y. Transglutaminase: its utilization in the food industry food. **Reviews International**, v.17, n.2, p. 221-246, 2001.

MANTHEY, F. A.; HALL, C. A. Effect of processing and cooking on the content of minerals and protein in pasta containing buckwheat bran flour. *Journal of Science and Food Agricultural*, v. 87, p. 2026-2033, 2007.

MEDINA-RODRÍGUEZ, C. L.; TORRES, P.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; RAMIREZ-WONG, B.; PAREDES-LÓPEZ, O.; CASTAÑO-TOSTADO, E. Effect of microbial transglutaminase on dough proteins of hard and soft (*Triticum aestivium*) and durum (*Triticum durum*) wheat cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 86, n. 2, p. 127-132, 2009.

MESSINA, M.; MESSINA, V.; SETCXHELL, K. D. R. **The simple soybean and your health**. New York: Avery Publishing Group, 1994. 260p.

MISKELLY, D.M. Noodles - a new look at an old food. **Food Australia**, v. 45, n. 10, p. 496-500, 1993.

PIMENTEL, C. V. M. B. FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2005, 95p.

PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes e parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1999, 72p.

POSNER, E.S.; HIBBS, A.N. **Wheat flour milling**. 1.ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1999. 341p.

SCHAAFSMA, G. Health claims, options for dietary fiber. In: VAN DER KAMP, J. W.; ASP, N-G.; JONES, J. M.; SCHAAFSMA, G. (Eds.). **Dietary fiber: bio-active carbohydrates for food and feed**. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2004. 357p.

STATISTICA for Windows – Release 7.0, StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA, 2004.

SGARBIERI, V.C.; PACHECO, M.T.B. Revisão: Alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, n. 12, p. 7-1999.

SILVA, C. B. **Efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na qualidade do pão de forma de farinha de trigo de grão inteiro**. 2007. 148 f. Campinas-SP. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2007.

SOARES, L.H.B.; ALBUQUERQUE, P.M; ASSMANN, F.; AYUB, M.A.Z. Physicochemical properties of three food proteins treated with transglutaminase. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1219-1223, 2004.

SUDHA, M. L.; RAMASARMA, P. R.; RAO, G. V. Wheat bran stabilization and its use in the preparation of high-fiber pasta. **Food Science and Technology International**, v. 17, n. 1, p. 47-57, 2011.

TACO – **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – Versão 2.** (2006). Disponível em: <www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2011.

TAKÁCS, K.; GELENCSÉR, E.; KOVÁCS, E.T. Effect of transglutaminase on the quality of wheat-based pasta products. **European Food Research Technology**, v. 226, p. 603–611, 2008.

TBCAUSP - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos 5.0.** (2011). Disponível em: <www.fcf.usp.br/tabela/>. Acesso em: 20 nov. 2011.

THOMPSON, L. U. Antioxidant and hormone-mediated health benefits of whole grains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 34, p. 473-497, 1994.

TUDORICĂ, C.M.; KURI, V.; BRENNAN, C.S. Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.347-356, 2002.

USDA – **National Nutrient Database for Standard Reference.** Disponível em: <www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/>. Acesso em: 20 nov. 2011.

VERNAZA, M.G.L. **Macarrão instantâneo funcional obtido pelos processos de fritura convencional e a vácuo.** 2011. 189 f. Campinas-SP. Tese (Doutora em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2011.

WANG, F.; HUANG, W.; KIM, Y.; LIU, R.; TILLEY, M. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin. **Journal of Cereal Science**, v. 54, p. 53-59, 2011.

WU, J. P.; CORKE, H. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 2587-2594, 2005.

YALLA, S. R.; MANTHEY, F. A. Effect of semolina and absorption level on extrusion of spaghetti containing non-traditional ingredients. **Journal of Science and Food Agricultural**, v.86, p. 841-848, 2006.

ARTIGO 2. Comportamento da transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de espaguetes enriquecidos com farinha de trigo de grão inteiro

Leandra Zafalon JAEKEL^{1*}; Yoon Kil CHANG¹

¹Departamento de Tecnologia de Alimentos - Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - C.P. 6121 - CEP 13083-862 - Campinas-SP;

E-mails: leandrazafalon@gmail.com; yokic@fea.unicamp.br

*Autor para correspondência.

Resumo

O desenvolvimento de produtos elaborados com farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) possibilita a obtenção de alimentos com propriedades funcionais fisiológicas, porém pode causar problemas tecnológicos. Este estudo objetivou avaliar o efeito da transglutaminase (TG) nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de espaguetes suplementados com FTGI. Foram elaboradas quatro formulações: controle EFT (100 % de farinha de trigo - FT), controle EGI (100 % de FTGI), EGI-TG (42 % de FT e 58 % de FTGI) e EGI+TG (42 % FT, 58 % de FTGI e 0,5 % de TG). Os produtos foram avaliados quanto à cor, fibra alimentar total, índice glicêmico (IG), características de cozimento e de textura, solubilidade proteica, eletroforese em gel de poliacrilamida, calorimetria diferencial de varredura (DSC), espectroscopia de infravermelho (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise sensorial. Os espaguetes suplementados com FTGI puderam ser considerados fonte de fibras (mais de 3 % de fibra alimentar total) e produtos de baixo índice glicêmico (aproximadamente 65 %, a amostra controle EFT teve um IG de 71 %). A solubilidade das proteínas não apresentou diferença com o uso da TG. A adição de TG aumentou significativamente ($p < 0,05$) a elasticidade, indicando possível formação de ligações cruzadas causados pela TG, e também nas propriedades térmicas do amido (por exemplo: temperatura final de gelatinização). Na microestrutura da amostra EGI+TG os grânulos de amido encontram-se menos evidentes. Os espaguetes apresentaram a distribuição das proteínas por peso molecular semelhantes, o mesmo ocorreu na espectroscopia de infra-vermelho, onde todas as bandas encontraram-se nas mesmas regiões. Na avaliação sensorial, o teste de comparação múltipla mostrou que os espaguetes EGI-TG, EGI+TG e controle EFT não diferiram estatisticamente quanto à textura e sabor. A aparência dos produtos com FTGI adicionados ou não de TG foi considerada melhor que a controle e não diferiu entre si. Além disso, as formulações apresentaram média 7 no teste de aceitação e 4 no teste de intenção de compra, que correspondem a

“gostei moderadamente” e “provavelmente compraria”, respectivamente. A adição de TG não influenciou nas características de cozimento dos produtos. No entanto, espaguete com adição de 58 % de FTGI, além de importantes propriedades funcionais, como fonte de fibras e baixo índice glicêmico, apresentam qualidade tecnológica semelhante ao produto tradicional, como mostraram as características de cozimento (perda de sólidos, aumento de peso e de volume) e textura (firmeza e elasticidade) dos produtos estudados.

Palavras-chaves: farinha de trigo de grão inteiro, transglutaminase, espaguete, avaliação sensorial.

Abstract

The development of products with whole grain wheat flour (WGWF) allows us making foods with functional and physiological properties, but may cause technological problems. This study aimed to evaluate the effect of transglutaminase (TG) enzyme on technological, structural and sensory characteristics of spaghetti supplemented with WGWF. Four formulations were developed: SWF control sample (100% wheat flour, WF); SWG control sample (100% WGWF), SWG-TG (42% WT + 58% WGWF) and SWG+TG (42% WT + 58% WGWF + 0.5% TG). The following parameters were evaluated: color, total dietary fiber, glycemic index (GI), cooking and texture characteristics, protein solubility, polyacrylamide gel electrophoresis, differential scanning calorimetry (DSC), infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM) and sensory analysis. The spaghetti supplemented with WGWF can be considered a source of fiber (> 3% total dietary fiber) and low glycemic product (with approximately 65% GI; the SWF control sample presented 71% GI). There was no difference in the protein solubility of the samples containing TG. The addition of TG significantly increased ($p < 0.05$) the elasticity, probably due to the formation of cross links caused by TG, and also the thermal properties of starch, such as the final gelatinization temperature. The microstructure of the sample SWG+TG exhibited less evident starch granules. The spaghetti showed similar molecular weight distribution of the proteins and this effect was observed also in infrared spectroscopy, where all bands were located in the same regions. Regarding the sensory evaluation, the multiple comparison tests showed that the samples SWG-TG, SWG+TG and SWF control sample did not differ statistically for texture and flavor attributes. The overall appearance of the products with WGWF containing or not TG were considered better than the standard sample and did not differ among them. For acceptance and purchase intention tests the formulations presented mean scores of 7 and 4, which correspond to "like moderately" and "would buy", respectively. The addition of TG no influence on the cooking characteristics of products. However its important functional properties such as source of fiber and low glycemic index, spaghetti with addition of 58% WGWF presented technological quality similar to the traditional product regarding cooking characteristics (cooking solids loss, weight gain and volume increase) and texture (firmness and elasticity).

Keywords: whole grain wheat flour, transglutaminase, spaghetti, sensory evaluation.

1 INTRODUÇÃO

As massas alimentícias desempenham um papel importante na alimentação para a população mundial. Assim, há uma demanda crescente para este produto e uma conseqüente necessidade de pesquisas para melhorar continuamente sua qualidade nutricional e funcional (TAKÁCS; GELENCSÉR; KOVÁCS, 2008). Ingredientes não tradicionais, como farinhas de grão inteiro, são uma alternativa para melhorar seu valor nutricional e contribuir para benefícios à saúde. Em 1999, a FDA (*Food and Drug Administration*) estabeleceu que para um alimento ser considerado produto de grão inteiro e utilizar alegação no rótulo (*whole grains*), deve conter 51 % ou mais de grão inteiro por porção (FDA, 2011). No Brasil, a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) em 1998 estabeleceu que produtos prontos para o consumo que contenham 3 % de fibra alimentar são considerados fonte de fibra e com 6 % são ricos em fibra (BRASIL, 1998).

As farinhas de grão inteiro apresentam vantagens nutricionais e funcionais fisiológicas frente às farinhas refinadas, uma vez que são constituídas pela maioria dos componentes benéficos à saúde, como as fibras, antioxidantes, vitaminas, minerais e aminoácidos. O consumo destes promove efeitos benéficos, principalmente relacionados à redução do risco de diabetes tipo 2, obesidade, doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer, além de ajudar a manter o peso corporal pelo baixo índice glicêmico (JACOBS et al., 1999; LIU et al., 1999; SLAVIN, 2004; HIRAWAN et al., 2010).

A fibra alimentar tem se tornado um assunto de considerável interesse público devido aos seus conhecidos efeitos benéficos fisiológicos e metabólicos. Os efeitos relatados são vários, incluindo a atuação para um bom funcionamento do intestino, perda de peso, diminuição de sintomas crônicos de constipação e de doenças cardiovasculares (CHO; DREHER, 2001). As fibras também melhoram o trânsito intestinal pelo aumento da absorção de água nas fezes (CHO, 2009; ARAVIND et al., 2012), diminuem a permanência do bolo fecal no intestino e/ou o

arrastam substâncias carcinogênicas, o que está relacionado com a redução do risco de incidência desta doença no cólon e reto (CHEN; LIN; WANG, 2010).

No entanto, a adição de fibras ou farinhas de grão inteiro pode causar problemas nas características de cozimento e textura das massas alimentícias, pela interferência na continuidade da rede de glúten (MANTHEY; SCHORNO, 2002; TAKÁCS; GELENCSEÉR; KOVÁCS, 2008), afetando diretamente a aceitação do produto.

A qualidade das massas alimentícias pode ser expressa em termos das características de cozimento, textura, aparência, sabor e aroma, sendo estes atributos de grande importância para o consumidor. Durante o cozimento de massas alimentícias adicionadas de fibras ocorre maior perda de sólidos devido à maior lixiviação pela interrupção da matriz proteica causada pelas fibras (CHILLO et al., 2008).

Os efeitos negativos oriundos da adição de fibras na qualidade de massas alimentícias podem ser compensados através do uso da enzima transglutaminase (proteína glutamina γ -glutamil transferase, E.C.2.3.2.13), a qual é capaz de catalisar a formação de ligações cruzadas covalentes entre resíduos de glutamina e lisina. A ligação cruzada formada entre resíduos de lisina e de glutamina cria uma rede proteica estável, com formação de compostos de alto peso molecular (GERRARD et al., 2001; KURAISHI et al., 2001; DUBE et al., 2007; AALAMI; LEELAVATHI, 2008; TAKÁCS, GELENCSEÉR; KOVÁCS, 2008; BELLIDO; HATCHER, 2011; WANG et al., 2011). Vários autores relataram que esta enzima forma ligações cruzadas principalmente com as proteínas formadoras do glúten (glutenina e gliadina) de alto peso molecular (> 85 kDa), mostrando pouca afinidade com gliadinas de baixo peso molecular (<70 kDa) (GERRARD et al., 2001; MEDINA-RODRÍGUEZ et al., 2009; BELLIDO; HATCHER, 2011).

Em função da falta de informação relacionada ao uso da transglutaminase em massas alimentícias à base de grão inteiro, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência da enzima transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de espaguete enriquecidos com farinha de trigo de grão inteiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As matérias-primas utilizadas foram farinha de trigo refinada - FT (*Bunge Alimentos S.A.*, Tatui, Brasil), farinha de trigo de grão inteiro - FTGI (*Moinho Sul Mineiro S.A.*, Varginha, Brasil), ambas obtidas de *Triticum aestivum*, e enzima transglutaminase (TG) em pó obtida do *Streptomyces mobaraense*, com atividade enzimática de 20–34 U.g⁻¹ (*Ajinomoto do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos LTDA*, São Paulo, Brasil).

2.1 Processamento dos espaguetes

Foram elaboradas quatro formulações de espaguetes: controle EFT (100 % de FT), controle EGI (100 % de FTGI), EGI-TG (42 % FT e 58 % FTGI, sem adição de TG) e EGI+TG (42 % FT e 58 % FTGI, com adição de 0,5 % TG). O processamento foi realizado na indústria Pastifício Selmi (Sumaré/Brasil). As matérias-primas foram misturadas previamente em homegeneizador em “V” da marca Tecnal (Piracicaba, Brasil) durante 5 minutos, adicionadas de 33 % de água aquecida à 54 °C e misturadas por 20 min, seguidas de extrusão em equipamento a vácuo *Food Processing Systems*, modelo 250-LAB 2.V (Nova York, USA), obtendo-se espaguete com espessura de 1,70 mm (matriz n° 49149), o corte foi manual. A secagem foi realizada em secador industrial da marca Mega Brasil, (Mauá, Brasil), até o produto atingir uma umidade inferior a 12 % (temperatura: 45 a 85 °C, umidade relativa: 74 a 85 % e tempo aproximado de 12 horas). O produto foi acondicionado em embalagem de polipropileno.

2.2 Avaliação dos espaguetes

2.2.1 Cor

A cor dos espaguetes crus foi determinada instrumentalmente, em triplicata, usando um colorímetro Mini *Scan*TM XE, modelo n° 45/0-L (Reston/USA), previamente calibrado no modo transmitância total para leitura dos parâmetros L*, a* e b*. As leituras foram feitas com iluminante D65, ângulo de visão de 10° e calibração *reflectance specular included* (RSIN).

2.2.2 Características de cozimento

O teste de cozimento dos espaguetes foi realizado em triplicata, segundo o método nº 66-50.01 da AACC (AACC, 2010) e os parâmetros avaliados foram tempo ótimo de cozimento, perda de sólidos solúveis na água de cozimento, aumento de peso do produto cozido e aumento de volume do produto cozido.

2.2.3 Características de textura

A textura dos espaguetes cozidos (no tempo ótimo de cozimento determinado no item 2.2.2) foi analisada segundo método da AACC nº 66-50.01 (AACC, 2010), utilizando-se Texturômetro TA-XT2i, da marca *Stable Micro Systems* (Haslemere, Inglaterra). A firmeza foi analisada usando força em compressão (N), velocidade pré-teste (2 mm/s), velocidade de teste (0,17 mm/s), velocidade pós-teste (10 mm/s), distância (4,5 mm) e o *probe* A/LKB-F. Na elasticidade as condições operacionais usadas foram força em tensão (N), velocidade pré-teste (1 mm/s), velocidade de teste (3 mm/s), velocidade pós-teste (10 mm/s) e o *probe* A/SPR. A adesividade foi determinada utilizando o *probe* HDP/PFS, velocidade pré-teste (1 mm/s), velocidade de teste (0,5 mm/s), velocidade pós-teste (10 mm/s), distância (100 mm), força (9,81 N) e tempo (2 s). Os testes foram realizados com 15 repetições por amostra.

2.2.4 Fibra alimentar total

O teor de fibra alimentar total dos espaguetes crus foi avaliado por análise enzimática gravimétrica, de acordo com o método oficial nº 985.29 da AOAC (AOAC, 1997), em triplicata.

2.2.5 Índice glicêmico *in vitro*

O índice glicêmico *in vitro* foi determinado usando método de Goñi, García-Alonso e Saura-Calixto (1997) com algumas modificações conforme Vernaza (2010). O padrão utilizado foi um pão branco. As amostras foram cozidas (conforme o tempo ótimo de cozimento – item 2.2.2), moídas, passadas por peneira (abertura de 250 µm) e secas em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 °C/24 h).

A taxa de liberação da glicose pela hidrólise do amido foi expressa como porcentagem de glicose em cada amostra (mg/100 mg de produto) para os tempos de 0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos. A área abaixo da curva de hidrólise do amido foi obtida através do software *Origin 6.0*. O índice de hidrólise foi calculado através da razão entre a área sob a curva da amostra e a área sob a curva do pão branco.

O índice glicêmico foi calculado através da seguinte equação:

$$\text{Equação 1 : IG} = 39,71 + (0,549 \times \text{IH})$$

Onde:

IG = índice glicêmico;

IH = índice de hidrólise.

2.2.6 Solubilidade de proteínas

A solubilidade das proteínas foi determinada segundo o método usado por Aalami e Leelavathi (2008), com modificações. As farinhas e os espaguetes crus (300 mg, bs) foram triturados (passados por peneira com abertura de 250 μm), secos em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 $^{\circ}\text{C}/24$ h) e adicionados de 1,5 mL de solução solvente, sendo: (i) tampão fosfato 27,5 mM pH 7,5; (ii) tampão fosfato 27,5 mM pH 7,5 adicionado de 4 % (m/v) de dodecil sulfato de sódio; (iii) tampão fosfato 27,5 mM pH 7,5 adicionado de 5 % (v/v) de β -mercaptoetanol; e (iv) tampão fosfato 27,5 mM pH 7,5 adicionado de 4 % (m/v) de dodecil sulfato de sódio e 5 % (v/v) de β -mercaptoetanol. O sistema amostra-solvente foi agitado em vórtex a cada 5 minutos durante 30 minutos. A suspensão foi centrifugada a 8000 x g em centrífuga refrigerada a 20 $^{\circ}\text{C}$ por 10 minutos. O sobrenadante foi transferido para tubo de proteína micro *Kjeldahl* e o conteúdo de proteína foi determinado de acordo com o método 46-13.01 da AACC (AACC, 2010).

2.2.7 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)

As matérias-primas (FT e FTGI) e os espaguetes (EFT, EGI, EGI-TG e EGI+TG) foram moídos até granulometria inferior a 250 μm e secos em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 $^{\circ}\text{C}/24$ h). A determinação do perfil eletroforético das

proteínas foi realizada de acordo com Laemmli (1970), com modificações, utilizando-se o Sistema *Mini-Protean II* e com fonte *Bio-Rad* (Oregon, Estados Unidos). As amostras (0,4 % de proteína) foram dispersas em 1 mL de tampão contendo 42,5 % de água destilada, 12,5 % de Tris-HCl 0,5 M (pH 6,8), 20 % de glicerol, 20 % de SDS, 5 % de β -mercaptoetanol e 0,1 % de bromofenol, aquecida a 95 °C por 5 min e, após resfriamento, alíquotas de 5 μ L de cada amostra foram aplicadas no gel. Utilizou-se o gel de separação a 12 % e o gel de empilhamento a 4 %. Após a corrida, os géis foram mantidos em solução do corante *Brilliant Blue-G* a 0,1 % em ácido fosfórico por 24 h e, posteriormente, descorados em água destilada.

2.2.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

Os espaguetes (EFT, EGI, EGI-TG e EGI+TG) foram moídos (conforme item 2.2.7) e as propriedades térmicas analisadas utilizando-se calorímetro diferencial de varredura Shimadzu, modelo TA60 (Kyoto, Japão). Foram pesadas, em triplicata, 3 mg de amostra em cápsulas de alumínio e adicionadas de 7 μ L de água deionizada. As cápsulas foram seladas hermeticamente e mantidas em temperatura ambiente por 1 h antes da análise. Foi utilizada uma cápsula de alumínio vazia como referência. Empregou-se uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, varrendo uma faixa de temperatura de 30 °C a 95 °C. Os valores de temperatura de início (T_o), temperatura de pico (T_p) e temperatura final de gelatinização (T_f), bem como os valores de entalpia (ΔH) foram obtidos a partir dos termogramas das amostras analisadas utilizando o *Universal Analyzer TA Software*.

2.2.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Foram analisadas as microestruturas das seções longitudinal e transversal dos espaguetes. A amostra foi fixada em *stub* (porta amostra) com fita de carbono condutor dupla face, e recobrimento metálico com Au por processo *sputtering* em *Sputter Coater POLARON*, modelo SC7620, VG Microtech (Uckfield, Inglaterra), e as microestruturas foram analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura,

modelo Leo 440i, LEO *Electron Microscopy/Oxford* (Cambridge, Inglaterra) utilizando-se tensão de aceleração de 15 kV e corrente de feixe igual a 100 pA.

2.2.10 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As matérias-primas (FT e FTGI) e os espaguetes (EFT, EGI, EGI-TG e EGI+TG) foram avaliados por espectrometria de infravermelho, conforme Weber et al. (2009). As amostras foram preparadas como em 2.2.7 e para o preparo da pastilha foi utilizado 0,200 g de KBr e 0,002 g de amostra. Os espectros foram obtidos entre 4000 e 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 40 *scans*, em Espectrofotômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier Shimadzu, modelo IRPrestige-21 (Kyoto, Japão).

2.2.11 Características sensoriais

Os espaguetes (EFT, EGI-TG e EGI+TG) foram submetidos à avaliação sensorial no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos (FEA – UNICAMP). A avaliação foi aplicada em 60 consumidores habituais de massas, de ambos os sexos e diferentes faixas etárias (18 a 50 anos). Antes de realizar a análise, os provadores assinaram o Termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO 1), indicando a sua concordância em participar do teste conforme protocolo do Comitê de Ética em Pesquisa – UNICAMP, a aprovação deste projeto por este órgão encontra-se nos ANEXOS 2, 3 e 4.

Os produtos foram avaliados, de acordo com Stone e Sidel (1993), através de teste de comparação múltipla, que avaliou aparência, textura e sabor, através da comparação com a amostra controle (EFT), usando a escala de 9 pontos (9 = extremamente melhor, 8 = muito melhor, 7 = moderadamente melhor, 6 = ligeiramente melhor, 5 = igual ao padrão, 4 = ligeiramente inferior, 3 = moderadamente inferior, 2 = muito inferior, 1 = extremamente inferior), do teste de aceitação, onde os provadores avaliarem o quanto gostaram ou desgostaram do produto utilizando uma escala hedônica de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 8 = gostei muito, 7 = gostei moderadamente, 6 = gostei pouco, 5 = não gostei nem

desgostei, 4 = desgostei pouco, 3 = desgostei moderadamente, 2 = desgostei muito e 1 = desgostei extremamente) e do teste de intenção de compra através de escala de 5 pontos (1 = certamente não compraria a 5 = certamente compraria). A partir do teste de aceitação foi calculado o índice de aceitabilidade dos produtos, de acordo com Gularte (2009). A ficha utilizada na avaliação sensorial encontra-se no ANEXO 5.

As amostras foram cozidas de acordo com o tempo ótimo de cozimento (item 2.2.2) e foi oferecida uma porção de 25 g de cada amostra em prato descartável, identificada com código de três números aleatórios, seguindo delineamento em blocos completos casualizados, e em cabines individuais.

2.3 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias através de teste de Tukey ao nível de 5% de significância em programa estatístico *Statistica 7.0* (STATISTICA, 2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação dos espaguetes

3.1.1 Cor

Os valores referentes à cor dos espaguetes encontram-se na Tabela 1. A luminosidade (valor L^*) e a cor amarela (valor b^* positivo) dos espaguetes EGI-TG e EGI+TG diminuíram significativamente ($p < 0,05$) comparados ao controle EFT. De fato essas amostras foram mais escuras devido à adição de farinha de trigo de grão inteiro. Os espaguetes com 58 % de FTGI (EGI-TG e EGI+TG) foram significativamente ($p < 0,05$) maiores que o controle EFT e menores que o controle EGI em relação ao parâmetro a^* (+a: tendência ao vermelho). Quanto à variação de cor (ΔE^*), os espaguetes EGI-TG e EGI+TG apresentaram valores muito semelhantes.

Chillo et al. (2008), em estudo com adição de farelo de trigo (10 a 20 %) em espaguete, encontraram valores próximos para L^* (28,62 a 36,89), a^* (6,61 a 9,15) e b^* (11,88 a 17,03). Manthey e Schorno (2002) estudando as características

físicas e qualidade de cozimento de espaguete de semolina de trigo *durum* de grão inteiro de diferentes cultivares e tempos de secagem relataram valores semelhantes de L* (36,3 a 37,7) e b* (14,3 a 14,9), e menores valores de a* (8,29 a 8,78).

Tabela 1. Valores dos parâmetros de cor, L*, a* e b* e variação de cor (ΔE^*) das massas alimentícias

| Amostra | L* | a* | b* | ΔE^* |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| EFT | 57,53±0,45 ^a | 9,43±0,09 ^c | 36,10±0,38 ^a | - |
| EGI | 31,13±0,30 ^c | 16,61±0,49 ^a | 15,11±0,18 ^c | - |
| EGI-TG | 34,79±0,59 ^b | 14,04±0,13 ^b | 20,54±0,34 ^b | 31,87±0,09 |
| EGI+TG | 34,82±0,24 ^b | 14,30±0,15 ^b | 21,27±0,31 ^b | 31,37±0,32 |

Média de três repetições \pm desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima.

3.1.2 Características de cozimento

As características de cozimento das amostras encontram-se na Tabela 2. Os espaguete EGI-TG e EGI+TG apresentaram o tempo ótimo de cozimento significativamente menor ($p < 0,05$) que os controles EFT e EGI. Além disso, o tempo de cozimento da amostra EGI também foi inferior à amostra EFT. Este comportamento também foi relatado por Manthey e Schorno (2002) e Chillo et al. (2008) em produtos com adição de fibras. A presença das camadas externas nos produtos com adição de fibras ou farinha de grão inteiro causa a ruptura da matriz de glúten facilitando a difusão da água e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de cozimento (MANTHEY; SCHORNO, 2002).

A perda de sólidos das amostras EGI-TG e EGI+TG não diferiu entre si e foi significativamente inferior ($p < 0,05$) à amostra com 100 % de farinha de grão inteiro. Vale salientar que a amostra EGI+TG, mesmo contendo fibras, não diferiu do controle EFT, o que pode estar relacionado à formação de ligações cruzadas pela ação da enzima, que dão origem a compostos com alto peso molecular reduzindo a lixiviação do amido (TAKÁCS; GELENCSEÉR; KOVÁCS, 2008). De acordo com Dick e Youngs (1988), uma perda de sólidos de até 8 % é

considerada adequada para espaguete produzidos com 100 % de semolina. Assim, os espaguete desenvolvidos neste trabalho podem ser considerados de boa qualidade.

Tabela 2. Tempo ótimo de cozimento (TOC), perda de sólidos (PS), aumento de peso (AP) e aumento de volume (AV) das massas alimentícias

| Amostra | TOC (min) | PS (%) | AP (%) | AV |
|---------|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| EFT | 9,02±0,02 ^a | 3,78±0,15 ^c | 125,25±3,28 ^a | 238,15±0,06 ^a |
| EGI | 8,79±0,12 ^b | 5,00±0,09 ^a | 117,64±3,05 ^a | 250,22±0,06 ^a |
| EGI-TG | 8,50±0,06 ^c | 4,30±0,18 ^b | 117,95±2,46 ^a | 256,09±0,19 ^a |
| EGI +TG | 8,55±0,04 ^c | 4,19±0,12 ^{bc} | 118,79±1,83 ^a | 240,27±0,04 ^a |

Média de três repetições ± desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima.

Trabalhos relacionados com a adição de fibras em massas alimentícias mostram que a perda de sólidos aumenta com o incremento de fibras (MANTHEY; SCHORNO, 2002; MANTHEY; HALL, 2007; CHILLO et al., 2008; SUDHA et al., 2011). Porém, não foram encontrados trabalhos relacionando à adição de TG e fibras com as características de cozimento, somente em produtos convencionais. Takács, Gelencsér e Kovács (2008), estudando o efeito de TG na qualidade de massas alimentícias de *T. aestivum*, relataram redução da perda de sólidos com o uso da enzima.

Em relação ao aumento de peso, não houve diferença significativa entre as amostras de grão inteiro adicionadas ou não de enzima e os controles. No entanto, estudos avaliando o efeito da enzima em farinha refinada indicaram efeito da TG em função da rede de glúten ficar mais compacta dificultando a entrada de água e com isso diminuindo o aumento de peso do produto (AALAMI; LEELAVATHI, 2008). Esses autores obtiveram redução do aumento de peso com o incremento de TG em espaguete produzidos com duas cultivares de trigo *durum*. Wu e Corke (2005), avaliando o efeito de TG em *noodles*, também mostram diminuição neste parâmetro. O aumento de volume dos espaguete analisados neste estudo também não apresentou diferença estatística significativa.

3.1.3 Características de textura

Assim como as características de cozimento, as características de textura são de grande importância para a qualidade das massas alimentícias. A firmeza dos produtos não diferiu entre si (Tabela 3). Basman, Koksel e Atli (2006) estudando o efeito da TG (0,2 a 0,4 %) em espaguete suplementado com fibra de trigo (0, 15 e 30 %) relataram que, no geral, os valores de firmeza aumentaram com o incremento de TG e diminuíram com maiores níveis de farelo.

Tratando-se da adesividade, as amostras com farinha de grão inteiro (Controle EGI, EGI-TG e EGI+TG) foram significativamente menores ($p < 0,05$) que a amostra controle EFT. Tal resultado pode ser atribuído ao fato de que essas amostras têm menor quantidade de amido que EFT, e, a adesividade está relacionada com a quantidade de amido e/ou sólidos lixiviados com o cozimento (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007). No entanto, Basman, Koksel e Atli (2006) observaram que a adição de TG ocasionou aumento nos valores de adesividade para os três níveis de suplementação com fibra de trigo (0, 15 e 30 %).

Tabela 3. Características de textura das massas alimentícias

| Amostra | Firmeza (N) | Adesividade (N) | Elasticidade (N) |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Controle EFT | 5,96±0,23 ^a | 2,09±0,24 ^a | 0,25±0,03 ^a |
| Controle EGI | 6,18±0,30 ^a | 0,99±0,17 ^b | 0,18±0,03 ^b |
| EGI-TG | 5,85±0,20 ^a | 1,18±0,08 ^b | 0,20±0,01 ^b |
| EGI+TG | 5,98±0,24 ^a | 1,07±0,20 ^b | 0,23±0,01 ^a |

Média de três repetições \pm desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima.

Em relação à elasticidade, as amostras EGI-TG e EGI+TG diferiram entre si ($p < 0,05$) e a amostra EGI-TG não diferiu da amostra com 100 % de farinha de grão inteiro (controle EGI). E ainda, o espaguete EGI+TG mostrou valores maiores que o controle EGI e igual ao controle EFT, o que pode estar relacionado com a influência da enzima TG, que aumentou a elasticidade da rede de glúten.

3.1.4 Fibra alimentar total

O teor de fibra alimentar total foi de $1,46 \pm 0,21$, $12,38 \pm 0,78$, $7,91 \pm 0,52$ e $7,82 \pm 0,65$ %, para os espaguete crus EFT, EGI, EGI-TG e EGI+TG, respectivamente. Esses valores foram calculados para o produto cozido, considerando-se o aumento de peso (Tabela 2), e reduziram-se para 0,61, 4,98, 3,09 e 3,25 %, respectivos aos espaguete cozidos EFT, EGI, EGI-TG e EGI+TG. No Brasil, em 13 de janeiro de 1998, foi publicada a Portaria nº 27, que estabelece que produtos prontos para o consumo contendo mais de 3 % de fibra alimentar são considerados fonte de fibra (BRASIL, 2011). Com isso, todos os espaguete elaborados nesse estudo usando farinha de trigo de grão inteiro podem conter a alegação “produto fonte de fibra”, de grande importância em termos fisiológicos, já que a busca por alimentos que tragam benefícios a saúde é cada vez maior.

3.1.5 Índice glicêmico *in vitro*

Os dados obtidos na hidrólise do amido, em função do tempo, das massas alimentícias e do pão branco (referência), estão apresentados na Figura 1. Na Tabela 4 estão os valores referentes ao índice de hidrólise (IH) e índice glicêmico (IG) obtido para as massas alimentícias e para o pão branco (usado como referência). Segundo Guttierrez e Alfenas (2007), o índice glicêmico é usado para classificar os alimentos contendo carboidratos de acordo com sua resposta glicêmica, em relação à resposta verificada depois de consumir pão branco ou glicose.

Verificou-se que o IH e o IG das amostras foi maior para o controle EFT, seguida pela EGI-TG, EGI+TG e controle EGI. Esse resultado é coerente com o teor de fibra das formulações. O uso das enzimas não provocou diferença entre as amostras EGI-TG e EGI+TG. O menor valor de IG encontrado para o controle EGI pode ser atribuído à presença das fibras, as quais não são digeríveis e ao mesmo tempo podem retardar a ação das enzimas amilolíticas durante a análise e digestão.

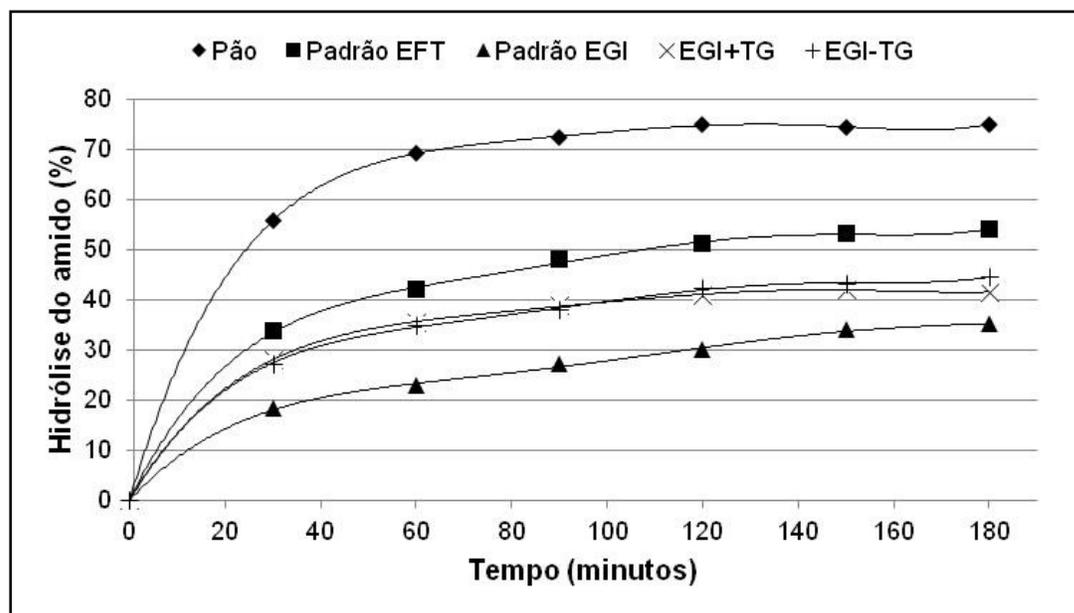


Figura 1. Hidrólise de amido vs tempo de incubação para análise de índice glicêmico.

EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima.

Tabela 4. Índice de hidrólise e índice glicêmico das massas alimentícias e do pão branco, expressos em porcentagem

| Amostra | Pão branco | Controle EFT* | Controle EGI* | EGI+TG* | EGI-TG* |
|---------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Índice de hidrólise | 100,00 | 57,76±1,98 ^a | 27,20±1,27 ^c | 50,80±2,43 ^b | 46,42±2,54 ^b |
| Índice glicêmico | 94,61 | 71,42±3,71 ^a | 54,65±4,04 ^c | 67,60±3,03 ^b | 65,19±2,67 ^b |

*Média de três repetições ± desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima.

Carreira, Lajolo e Menezes (2004) encontraram valores de IG de 64 % para espaguete de farinha de trigo, sendo ligeiramente inferior ao obtido nesse estudo, que foi de 71 %. Segundo classificação proposta por Menezes e Lajolo (2006), todos os espaguetes podem ser considerados de baixo IG, pois apresentaram valores menores que 75 %.

Em pesquisa com índice glicêmico abordando saúde e doenças foi relatado que dietas contendo alto IG proporcionam menor poder de saciedade, o que causa maior ingestão alimentar, e conseqüente aumento do peso dos indivíduos. E ainda, dietas com alto IG podem alterar o perfil lipídico e a secreção insulínica, contribuindo com o surgimento de diabetes *mellitus* e de doenças cardiovasculares (JENKINS et al., 2002). No entanto, dietas de baixo IG podem aumentar o teor de massa magra e diminuir o teor de massa contendo gordura no corpo (BOUCHÉ et al., 2002).

3.1.6 Solubilidade de proteínas

A solubilidade das proteínas das farinhas e das massas alimentícias está apresentada na Tabela 5. Dentre os solventes utilizados, o tampão fosfato extrai proteínas solúveis em água no seu estado nativo, o β -mercaptoetanol é responsável pela ruptura das ligações dissulfeto e o dodecil sulfato de sódio é utilizado pela habilidade de interromper interações iônicas (CHIANG, 2007).

Entre as farinhas, a farinha de trigo apresentou menor solubilidade para os sistemas PB (tampão fosfato 27,5 mM pH 7,5), PB+SDS (tampão fosfato e dodecil sulfato de sódio 4 %) e PB+ β -ME (tampão fosfato e β -mercaptoetanol 5 %), provavelmente pela presença dos maiores teores das proteínas de reserva (albumina e globulina) presentes na farinha de trigo de grão inteiro. Com o desenvolvimento da rede de glúten e a compactação das massas alimentícias, verificou-se que a solubilidade proteica no sistema PB diminuiu em relação às farinhas, mas não houve diferença entre os espaguetes que apresentam FTGI na formulação.

No sistema que apresenta PB+SDS para solubilização das proteínas ficou evidenciado uma redução estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as farinhas e os espaguetes padrões. Para o sistema PB+ β -ME ocorreu o contrário, onde valores maiores e estatisticamente significativos ($p < 0,05$) foram obtidos nos espaguetes padrões, em relação às farinhas.

Tabela 5. Solubilidade das proteínas das massas alimentícias em diferentes solventes

| Amostra | PB* | PB+SDS* | PB+ β -ME* | PB+SDS+ β -ME* |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| FT | 13,41 \pm 0,12 ^b | 47,86 \pm 0,94 ^b | 0,10 \pm 0,03 ^e | 87,87 \pm 0,64 ^a |
| FTGI | 18,49 \pm 0,69 ^a | 66,18 \pm 1,49 ^a | 0,52 \pm 0,09 ^d | 78,32 \pm 7,11 ^b |
| Controle EFT | 10,02 \pm 0,22 ^d | 43,11 \pm 0,64 ^c | 3,95 \pm 0,32 ^a | 82,37 \pm 0,89 ^b |
| Controle EGI | 11,62 \pm 0,46 ^c | 38,87 \pm 1,00 ^d | 2,23 \pm 0,76 ^b | 90,03 \pm 1,07 ^a |
| EGI-TG | 11,32 \pm 0,25 ^c | 46,65 \pm 0,26 ^b | 1,17 \pm 0,37 ^c | 84,45 \pm 1,53 ^b |
| EGI+TG | 11,72 \pm 0,37 ^c | 45,93 \pm 1,28 ^b | 0,80 \pm 0,20 ^{cd} | 79,37 \pm 3,81 ^b |

Média de três repetições \pm desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); FT – farinha de trigo; FTGI – farinha de trigo de grão inteiro; EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima;

*PB – tampão fosfato 27,5mM pH 7,5; SDS – dodecil sulfato de sódio 4 %; β -ME – β -mercaptoetanol 5 %.

Solventes redutores como β -ME são responsáveis por solubilizar ligações dissulfeto, as quais são formadas durante o desenvolvimento da rede de glúten. Em contrapartida, a matriz proteica formada diminui a solubilização de proteínas que apresentam interações hidrofóbicas e são solúveis em solventes detergentes como o SDS.

O sistema contendo todos os solventes apresentou maiores valores de solubilidade proteica quando comparado ao somatório dos sistemas isolados (PB, PB+SDS, PB+ β -ME). Tal fato pode ser atribuído ao sinergismo entre os solventes, o que possibilitou maiores proporções de solubilização.

Aalami e Leelavathi (2008) verificaram a influência da TG em espaguete convencionais, onde a solubilidade diminui significativamente com o incremento da enzima. No presente estudo, o uso da enzima TG não apresentou influência na solubilidade proteica em nenhum dos sistemas utilizados, uma das justificativas foi a interferência causada pelas fibras no meio.

3.1.7 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)

A Figura 2 mostra a distribuição do peso molecular das proteínas encontradas nas massas alimentícias (padrões EFT e EGI e EGI-TG e EGI+TG). Todas as amostras de espaguete apresentaram distribuição semelhante de peso molecular de todas as frações de proteínas solúveis. Pelo perfil eletroforético das

proteínas, observou-se a presença de três regiões principais de bandas proteicas, com pesos moleculares variando de aproximadamente 30 a 36 kDa, 40 a 45 kDa e 75 a 125 kDa.

Segundo alguns pesquisadores (GERRARD et al, 2001; MEDINA-RODRÍGUEZ et al., 2009; BELLIDO; HATCHER, 2011), a TG tem maior afinidade para formar ligações cruzadas com as proteínas formadoras do glúten. A glutenina é formada por subunidades de baixo peso molecular (LMW), entre 20 e 45 kDa, e por subunidades de glutenina de alto peso molecular (HMW), entre 70 e 90 kDa. A α , β e γ - gliadina apresentam um peso molecular médio de 40 kDa e cadeia simples (DUPONT; ALTENBACH, 2003) e a ω - gliadina um peso molecular em torno de 66 kDa. O resultado desse estudo pode ser justificado pelo fato de que a farinha de grão inteiro apresenta um menor teor de glutenina e gliadina (essas proteínas concentram-se no glúten) e um maior teor de albuminas e globulinas (POSNER; HIBBS, 1990).

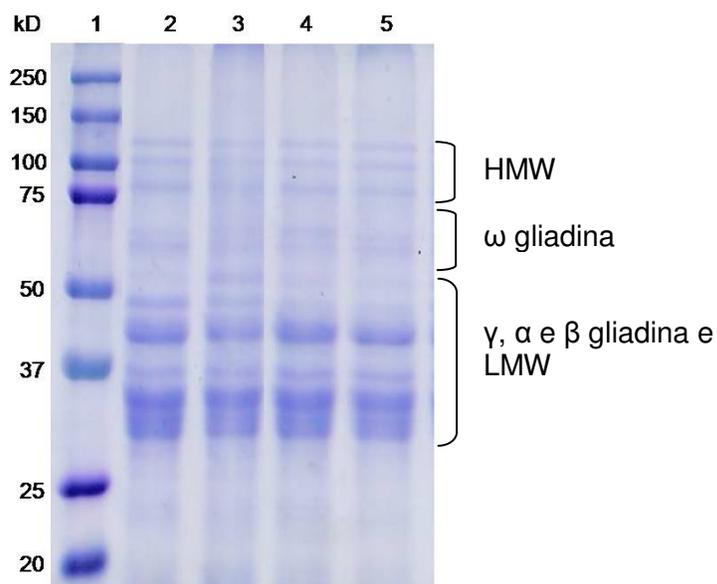


Figura 2. Perfil eletroforético de proteínas das massas alimentícias por eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE).

1: Padrão *Bio-rad* (161-0375), 2: Controle EFT, 3: Controle EGI, 4: EGI-TG, 5: EGI+TG.
 FT – farinha de trigo; FTGI – farinha de trigo de grão inteiro; EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima.

Aalami e Leelavathi (2008) analisando as proteínas de massas alimentícias de trigo *durum* de duas variedades de trigo, adicionadas de transglutaminase (0 a 2,0 %), observaram polimerização das proteínas e que o grau de polimerização aumentou com os maiores níveis da enzima.

3.1.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A calorimetria diferencial de varredura é importante para projetar e otimizar processos alimentícios, como extrusão e cozimento de massas alimentícias pois fornece a cinética de gelatinização e fusão do amido (SPIGNO; DE FAVERI, 2004). Na Tabela 6, pode-se verificar que a adição de TG influenciou significativamente ($p < 0,05$) apenas a temperatura final de gelatinização do amido, enquanto que a farinha de trigo de grão inteiro, independente da quantidade adicionada (100 ou 58 %), provocou um aumento significativo na temperatura de pico, comparando com a amostra constituída somente por farinha de trigo refinada, provavelmente pela presença de fibras que aumentam a absorção de água dos produtos, limitando dessa forma a água disponível para a gelatinização do amido, necessitando assim, de maiores temperaturas para ocorrência da transição de fase. Porém, não existem trabalhos relacionando a adição de fibras e transglutaminase com DSC, que possibilitariam maiores discussões.

Tabela 6. Propriedades térmicas obtidas dos diferentes espaguetes

| Amostra | T _o (°C)* | T _p (°C)* | T _f (°C)* | Entalpia (J/g)* |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| EFT | 54,89±0,32 ^a | 60,55±0,51 ^b | 65,35±0,61 ^b | 4,31±0,05 ^a |
| EGI | 54,70±0,42 ^a | 61,95±0,13 ^a | 67,59±0,08 ^a | 3,97±0,17 ^a |
| GI-TG | 54,51±0,46 ^a | 61,93±0,13 ^a | 67,58±0,07 ^a | 3,88±0,18 ^a |
| GI+TG | 55,52±0,28 ^a | 62,39±0,06 ^a | 66,03±0,02 ^b | 3,89±0,13 ^a |

Média de três repetições ± desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima.

*T_o = Temperatura inicial da gelatinização, T_p = Temperatura de pico, T_f = Temperatura final da gelatinização e ΔH= entalpia de gelatinização. Médias com letras distintas na mesma coluna demonstram diferenças estatisticamente significativas entre as diferentes amostras pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Sozer, Dalgiç e Kaya (2007) estudando a adição de fibras em espaguete, verificaram valores superiores de T_o de 57,42 e 58,06°C, T_p de 63,00 e 63,89 °C, T_f de 68,64 e 69,19 e ΔH de 3,19 e 3,49 J/g, respectivos ao espaguete controle e com adição de fibras.

3.1.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microestrutura longitudinal e transversal dos espaguetes com 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com e sem TG e dos padrões (EFT e EGI) foi examinada por microscopia eletrônica de varredura (Figura 3).

Na amostra controle EFT visualiza-se os grânulos de amido mais salientes e definidos (Figura 3: 1 e 2), já no controle EGI isto não foi evidenciado (Figura 3: 3 e 4), provavelmente pela presença das camadas mais externas do grão, como as fibras. Além disso, as partículas de fibras interferem na formação da rede de glúten e não ficam associadas com a matriz de glúten (MANTHEY; SCHORNO, 2002).

A amostra com 58 % de grão inteiro e enzima (EGI+TG) possui uma aparência mais compacta e matriz mais contínua, os grânulos de amido parecem estar cobertos pelas proteínas (Figura 3: 7 e 8). Já na micrografia do espaguete EGI-TG pode-se visualizar os grânulos de amido mais definidos (Figura 3: 5 e 6) comparando ao EGI+TG.

Alguns estudos com massas alimentícias com adição de fibras e/ou transglutaminase descreveram características semelhantes às encontradas neste trabalho. Manthey e Schorno (2002), em estudo de espaguete com farinha de trigo *durum* de grão inteiro, descreveram que as fibras não estão associadas à rede de glúten. Choy, Hughes e Small. (2010) estudando *noodles* adicionados de TG (0,50 e 1,00 %), relataram a presença de uma rede proteica contínua com a adição de 1 % de TG em comparação com a amostra controle. Bellido e Hatcher (2011) relataram que as microestruturas de *noodles* adicionados de TG apresentaram um aumento na espessura da camada de proteínas que cobrem os grânulos de amido.

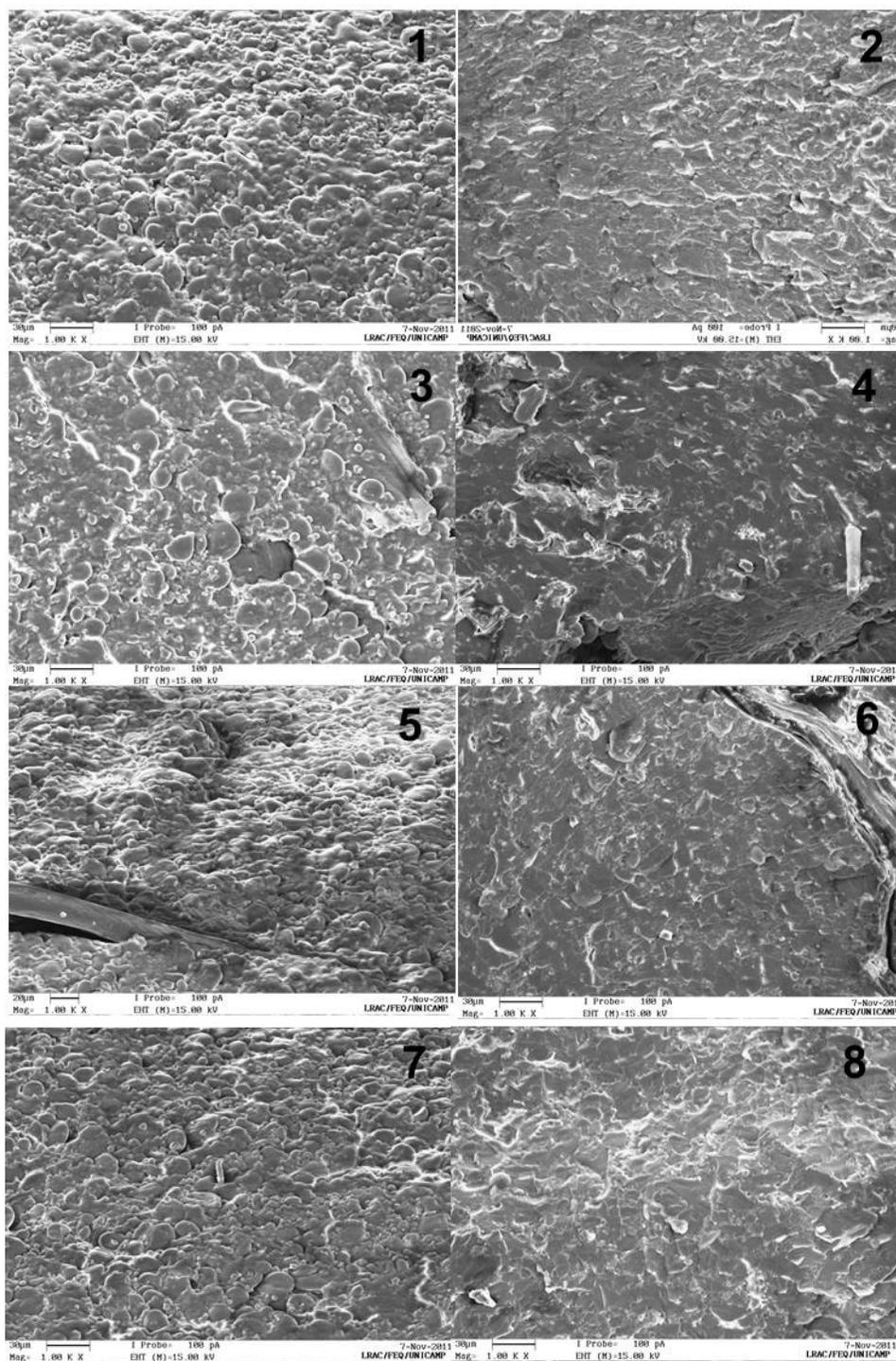


Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura longitudinal (1, 3, 5 e 7) e transversal (2, 4, 6 e 8) das amostras controle EFT (1 e 2), controle EGI (3 e 4) EGI-TG (5 e 6) EGI+TG (7 e 8).

FT – farinha de trigo; FTGI – farinha de trigo de grão inteiro; EFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); EGI – amostra controle da farinha de grão inteiro (100 %); EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima.

3.1.10 Espectrometria de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Nos espectros de FTIR de FT e FTGI (Figura 4) pode-se visualizar que ambas as farinhas apresentam as mesmas bandas, características de suas estruturas químicas. A banda na região de 3350 cm^{-1} representa o grupamento hidroxila (O-H), que está relacionado com as inúmeras hidroxilas presentes na forma livre ou ligada por ligações de hidrogênio entre a água e demais nutrientes da farinha de trigo. A banda encontrada em 1541 cm^{-1} caracteriza a presença de amida II (flexão N-H) e a banda em 1637 cm^{-1} marca a presença de amida I (alongamento C=O). Conforme Rahman et al. (2011), estas bandas (1541 e 1637 cm^{-1}) podem estar relacionadas com a ligação água-proteína e proteína-proteína, respectivamente, em função da umidade do macarrão por meio de ligação natural da água com a matriz sólida.

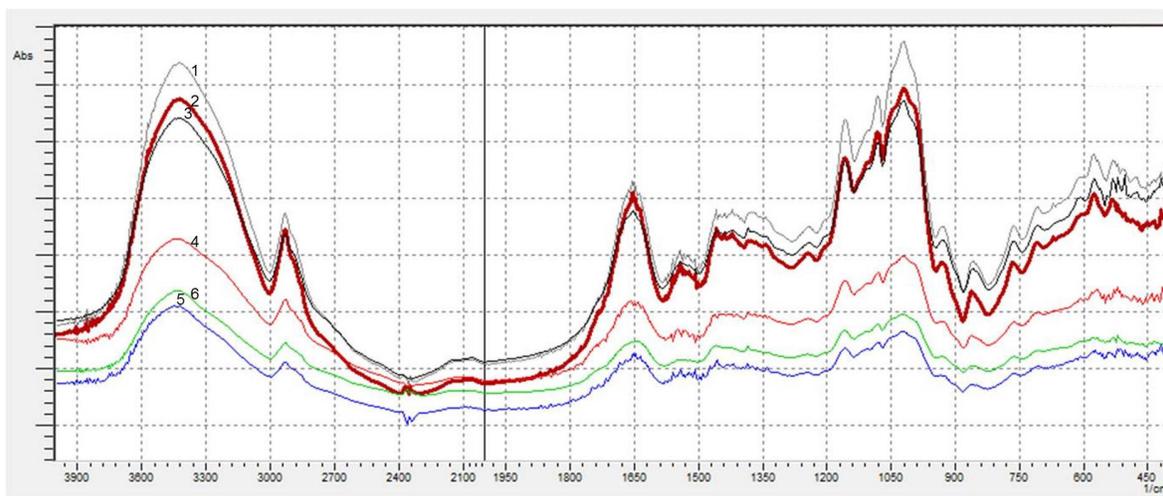


Figura 4. Espectros de absorção por Infra-vermelho das farinhas (FT e FTGI) e espaguetes (EFT, EGI, EGI-TG e EGI+TG).

1: FT (farinha de trigo); 2: FTGI (farinha de trigo de grão inteiro); 3: EFT (amostra controle de farinha de trigo -100 %); 4: EGI (amostra controle da farinha de grão inteiro -100 %); 5: EGI-TG (amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima); 6: EGI+TG (amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima).

Os espaguetes EGI-TG, EGI+TG apresentaram bandas semelhantes às encontradas nos padrões EFT e EGI. A banda em torno de 1640 cm^{-1} é característica de aminoácidos contendo grupo lateral NH_2 ($1660 - 1610\text{ cm}^{-1}$), como a lisina, a qual faz parte da reação de intercruzamento com ácido glutâmico

promovido pela transglutaminase. Como nas farinhas também há aminoácidos com grupamento NH_2 , e essa análise não quantificou, apenas qualificou, não foi possível saber se ocorreu a reação de intercruzamento, porém, se ocorreu não foi completa, pois esse grupamento aparece na forma livre no produto com enzima.

3.1.11 Avaliação sensorial

Os resultados do teste de comparação múltipla estão expressos na Tabela 7. As amostras com farinha de grão inteiro, com e sem enzima não apresentam diferença estatística ($p < 0,05$) entre si e nem relação à amostra controle EFT, para os atributos textura e sabor, sendo que a aparência destes produtos foi considerada melhor comparada com o controle EFT, e estes não diferiram entre si. A média para os produtos avaliados foi de aproximadamente 7 para a aparência e 5 para a textura e o sabor, o que indica que as amostras foram consideradas “moderadamente melhor” e “igual ao padrão”, respectivamente para a aparência, e textura e sabor. Tal resultado sugere que as amostras de espagete com farinha de trigo de grão inteiro apresentaram um nível de qualidade global equivalente ao do espagete feito apenas com farinha de trigo refinada.

Tabela 7. Teste de comparação múltipla, de aceitação, índice de aceitabilidade e de intenção de compra dos espaguetes

| Testes sensoriais | | EGI-TG | EGI+TG | EFT |
|------------------------------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Teste de comparação múltipla | Aparência | 7,28±2,13 ^a | 7,35±2,08 ^a | - |
| | Textura | 5,43±1,57 ^a | 5,62±1,48 ^a | - |
| | Sabor | 5,37±1,69 ^a | 5,07±1,80 ^a | - |
| Teste de aceitação | | 7,11±1,14 | 7,14±1,07 | 7,31±1,12 |
| Índice de aceitabilidade (%) | | 79,33 | 79,00 | 81,22 |
| Intenção de compra | | 4,06±0,98 ^a | 4,11±0,93 ^a | 4,60±0,82 ^a |

EGI-TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro sem adição de enzima; EGI+TG – amostra contendo 42 % de farinha de trigo e 58 % de farinha de trigo de grão inteiro com adição de enzima; EFT – amostra contendo 100 de farinha de trigo.

Quanto ao teste de aceitação, os espaguetes EGI-TG e EGI+TG e a amostra controle EFT tiveram médias muito semelhantes. A média das notas equivale a “gostei moderadamente” conforme a escala hedônica de 9 pontos usada para este teste e os produtos analisados não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). Os espaguetes apresentaram índice de aceitabilidade acima

de 70 %, diante desse resultado, os produtos podem ser considerados aceitos em termos de suas propriedades sensoriais, pois alcançaram um índice de aceitabilidade maior que 70% (GULARTE, 2009).

As massas alimentícias também foram analisadas quanto à intenção de compra e não diferiram significativamente ($p < 0,05$). As médias dadas pelos provadores equivalem a “provavelmente compraria” de acordo com a escala usada.

O estímulo ao consumo de produtos de grão inteiro deve estar associado não só aos constituintes nutricionais e funcionais inerentes a esta matéria-prima, como também às características sensoriais apreciáveis pelos consumidores. Isto pode ser facilmente alcançado, como visto neste estudo, onde a adição de farinha de trigo de grão inteiro possibilitou a obtenção de produtos com características sensoriais semelhantes ao controle.

4 CONCLUSÕES

Os resultados dessa pesquisa demonstraram que a enzima transglutaminase apresentou influência em alguns parâmetros estudados. A elasticidade dos espaguetes com 58 % de FTGI e TG foi maior que dos espaguetes com FTGI e sem TG, o que indica provável atuação da enzima com consequente formação de ligações cruzadas. Também se observou possível efeito da enzima na microscopia eletrônica de varredura, onde a microestrutura do espaguete EGI+TG mostra a rede proteica mais compacta, com os grânulos de amido parecendo mais cobertos pelas proteínas.

Entretanto, não foi verificado efeito da TG em alguns parâmetros, como nas características de cozimento, perfil eletroforético e solubilidade das proteínas. Isso pode estar relacionado ao fato de que massas alimentícias consistem em um meio seco, dificultando a mobilidade enzimática e são produzidas em um curto período de tempo.

O índice glicêmico das massas alimentícias com FTGI adicionadas ou não de TG não diferiu entre si, porém foram significativamente menores que o controle EFT e maiores que o controle EGI.

Em relação à avaliação sensorial, os espaguetes EGI-TG e EGI+TG foram semelhantes à amostra controle nos atributos textura e sabor, e moderadamente melhor em relação à aparência, e também apresentaram notas semelhantes ao controle no teste de aceitação (aproximadamente 7, que equivale a “gostei moderadamente”), e no teste de intenção de compra (aproximadamente 4, que corresponde a “provavelmente compraria”).

Vale salientar que as massas alimentícias adicionadas de farinha de grão inteiro avaliadas nesse estudo podem constituir uma importante alternativa às pessoas que buscam alimentos que tragam benefícios à saúde, sendo considerados produtos fonte de fibras e de baixo índice glicêmico, e com características sensoriais satisfatórias.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP, CAPES, *National Starch*, *Bunge*, *Ajinomoto*, Pastifício Selmi e Embrapa Agroindústria de Alimentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved methods. 11th ed. St. Paul: AACC, 2010.

AALAMI, M.; LEELAVATHI, K. Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 5, p. 306-312, 2008.

ABIMA - **Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias**. Disponível em: <<http://www.abima.com.br>>. Acesso em 20 jan 2012.

ALMEIDA, E.L.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Effect of adding different dietary fiber sources on Farinographic parameters of heat flour. **Cereal Chemistry**, n.87, v.6, p.566-573, 2012.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis Association of Official Analytical Chemists**, 16 ed., 3. rev. Gaithersburg: AOAC International, 1997.

ARAVIND, N.; SISSONS, M.; EGAN, N.; FELLOWS, C. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v.130, n.2, p.299-309, 2012.

BASMAN, A.; KÖKSEL, H.; ATLI, A. Effects of increasing levels of transglutaminase on cooking quality of bran supplemented spaghetti. **European Food Research Technology**, v. 223, p. 547–551, 2006.

BASMAN, A.; KÖKSEL, H.; NG, P. K. W. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours. **European Food Research Technology**, v. 215, p. 419-424, 2002.

BELLIDO, G. G.; HATCHER, D. W. Effects of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chinese-style noodles. **Food Chemistry**, v. 125, p. 813–822, 2011.

BOUCHÉ, C.; RIZKALLA, S.W.; JING, L.; VIDAL, H.; VERONESE, A.; PACHER N, et al. Five-week, low-glycemic index diet decreases total fat mass and improves plasma lipid profile in moderately overweight nondiabetic men. **Diabetes Care**, v.25, p.822-828, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria**. Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 05 de setembro de 2011.

CARREIRA, M. C.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Glycemic Index: Effect of Food Storage under Low Temperature. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 4, p.569-574, 2004.

CHEN, H.L.; LIN, Y.M.; WANG, Y-C. Comparative effects of cellulose and soluble fibers (pectin, konjac glucomannan, inulin) on fecal water toxicity toward caco-2 cells, fecal bacteria enzymes, bile acid, and short-chain fatty acids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, n.18, p.10277-10281, 2010.

CHEN, J.S.; FEI, M. J.; SHI, C. L.; TIAN, J. C.; SUN, C. L.; ZHANG, H.; MA, Z.; DONG, H. X. Effect of particle size and addition level of wheat bran on quality of dry white Chinese noodles. **Journal of Cereal Science**, v. 53, p. 217-224, 2011.

CHIANG, A. **Protein-protein interaction of soy protein isolate from extrusion processing**. 2007. 105 f. Missouri-Columbia. Thesis (Master of Science) - Faculty of the Graduate School, University of Missouri-Columbia, Missouri, 2007.

CHILLO, S, LAVERSE, J., FALCONE, P.M., PROTOPAPA, A., DEL NOBILE, M.A. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. **Journal of Cereal Science**, v. 47, p.144-152, 2008.

CHO, S. S.; DREHER, M. L. (Eds.) **Handbook of dietary fiber**. Switzerland, New York: Marcel Dekker, Inc., 2001.

CHO, S.S.; CLARK, C. Wheat bran: physiological effects. In: CHO, S. S.; DREHER, M. L. (Eds.). **Handbook of dietary fiber**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2001.

CHOY, A.; HUGHES, J.G.; SMALL, D.M. The effects of microbial transglutaminase, sodium stearoyl lactylate and water on the quality of instant fried noodles. **Food Chemistry**, v.122, p.957–964, 2010.

CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Como fazer massas**. Icone Editora e Editora da Unicamp, 1986, 127p.

COSTABILE, A.; KLINDER, A.; FAVA, F.; NAPOLITANO, A.; FOGLIANO, V.; LEONARD, C.; GIBSON, G. R.; TUOHY, K. M. Whole-grain wheat breakfast cereal has a prebiotic effect on the human gut microbiota: a double-blind, placebo-controlled, crossover study. **British Journal of Nutrition**, v. 99, p. 110-120, 2008.

COURTIN, C. M.; DELCOUR, J. A. TLXI, a novel type of xylanase inhibitor from wheat (*Triticum aestivum*) belonging to the thaumat in family. **Biochemical Journal**, v. 403, p. 583–591, 2007.

DEBYSER, W.; PEUMANS, W. J.; VANDAMME, E. J. M.; DELCOUR, J. A. *Triticum aestivum* xylanase inhibitor (TAXI), a new class of enzyme inhibitor affecting breadmaking performance. **Journal of Cereal Science**, v. 30, p. 39–43, 1999.

DICK, J.W.; YOUNGS, V.L. (1988). Evaluation of durum wheat semolina and pasta in the United States. In: **Durum Wheat, Chemistry and Technology**, Fabriani G. and Lintas C. (eds). St. Paul, MN: The American Association of Cereal Chemists, p.237–248.

DUBE, M.; SCHÄFER, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.. Texturisation and modification of vegetable proteins for food applications using microbial transglutaminase. **European Food Research and Technology**, v. 225, p. 287-299, 2007.

FDA - Food and Drug Administration's **CFR - Code of Federal Regulations Title 21**. Disponível em: <<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm>>. Acesso em: 12 set. 2011.

FUENTES-ZARAGOZA, E.; RIQUELME-NAVARRETE, M.J.; SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International**, v. 43, p. 931-942, 2010.

GERRARD, J.A.; FAYLE, S.E.; BROWN, P.A.; SUTTON, K.H.; SIMMONS, L.; RASIAH, I. Effects of Microbial Transglutaminase on the Wheat Proteins of Bread and Croissant Dough. **Journal of Food Science**, v.66, n.6, p.782-786, 2001.

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

GULARTE, M.A. **Manual de Análise Sensorial de Alimentos**. Editora e Gráfica Universitária, UFPel, 2009. p.109.

GUTTIERRES, A.P.M; ALFENAS, R.C.G. Efeitos do índice glicêmico no balanço energético. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia& Metabologia**, v.51, n.3, 2007.

HIRAWAN, R.; SER, W.Y.; ARNTFIELD, S.D.; BETA, T. Antioxidant properties of commercial, regular- and whole-wheat spaghetti. **Food Chemistry**, v.119, p.258-264, 2010.

HOSENEY, C.A. Principles of Cereal Technology, second ed. **American Association of Cereal Chemists Inc.**, St Paul, Minnesota. 1998.

HUANG, D. P.; ROONEY, L. W. Starches for snack foods. *In*: LUSAS, E. W.; ROONEY, R. W. Snack foods processing. CRC Press, Boca Raton, p.115-136, 2001.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Rapid Pasting Method using the Newport Rapid Visco Analyser**. ICC Standard No. 162, Int. Association of Cereal Science and Technology. 1995.

JACOBS, D. R., JR.; MEYER, K. A.; KUSHI, L. H.; FOLSOM, A. R. Is whole grain intake associated with reduced total and causespecific death rates in older women: The Iowa Women's Health Study. **American Journal of Public Health**, v. 89, p. 322-329, 1999.

JAEKEL, L. Z.; SCHMIELE, M.; PATRICIO, E.; STEEL, C. J.; CHANG, Y. K. Farinographic properties of wheat flour with partial substitution by wheat bran or whole grain wheat flour. *In*: IFT 10 – Annual Meeting and Food Expo. Chicago, 2010.

JENKINS, D.J.; KENDALL, C.W.; AUGUSTIN, L.S.; FRANCESCHI, S.; HAMIDI, M.; MARCHIE, A.; JENKINS, A.L.; AXELSEN, M. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.76, n.1, p.266-273, 2002.

KURAIISHI, C.; YAMAZAKI, K.; SUSA, Y. Transglutaminase: its utilization in the food industry food. **Reviews International**, v.17, n.2, p. 221-246, 2001.

LAEMMLI, U.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. **Nature**, v. 227, p.680–685, 1970.

LIU, S. M.; STAMPFER, M. J.; HU, F. B.; GIOVANNUCCI, E.; RIMM, E.; MANSON, J. E.; HENNEKENS, C. H.; WILLETT, W. C. Whole grain consumption and risk of coronary heart disease: results from the Nurses' Health Study. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, p. 412-419, 1999.

MANTHEY, F. A.; HALL, C. A. Effect of processing and cooking on the content of minerals and protein in pasta containing buckwheat bran flour. **Journal of Science and Food Agricultural**, v. 87, p. 2026-2033, 2007.

MANTHEY, F. A.; SCHORNO, A. L. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum. **Cereal Chemistry**, v.79, p. 504-510, 2002.

MEDINA-RODRÍGUEZ, C. L.; TORRES, P.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; RAMIREZ-WONG, B.; PAREDES-LÓPEZ, O.; CASTAÑO-TOSTADO, E. Effect of microbial transglutaminase on dough proteins of hard and soft (*Triticum aestivum*) and durum (*Triticum durum*) wheat cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 86, n. 2, p. 127-132, 2009.

MENEZES, E. W.; LAJOLO, F. M. Marcadores in vivo e in vitro de carbídros. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. (Eds.). **Carbídros en alimentos regionales iberoamericanos**. Proyecto CYTED/CNPq XI.18. Composición, estructura propiedades biológicas de carbídros y su utilización em alimentos, EDUSP, São Paulo, p. 309-334, 2006.

MESSINA, M.; MESSINA, V.; SETCXHELL, K. D. R. **The simple soybean and your health**. New York: Avery Publishing Group, 1994. 260p.

MISKELLY, D.M. Noodles - a new look at an old food. **Food Australia**, v. 45, n. 10, p. 496-500, 1993.

PIMENTEL, C. V. M. B. FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais: introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2005, 95p.

POSNER, E.S.; HIBBS, A.N. **Wheat flour milling**. 2.ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1999. 341p.

RAHMAN, M.S.; SENADEERA, W.; AL-ALAWI, A.; TRUONG, T.; BHANDARI, B.; AL-SAIDI, G. Thermal transition properties of spaghetti measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). **Food Bioprocess Technology**, v.4, p.1422–1431, 2011.

SCHAAFSMA, G. Health claims, options for dietary fiber. In: VAN DER KAMP, J. W.; ASP, N-G.; JONES, J. M.; SCHAAFSMA, G. (Eds.). **Dietary fiber: bio-active carbohydrates for food and feed**. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2004. 357p.

SGARBIERI, V.C.; PACHECO, M.T.B. Revisão: Alimentos funcionais fisiológicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, n. 12, p. 7-1999.

SLAVIN, J. Whole grains and human health. **Nutrition Research Reviews**, v. 17, p. 99-110, 2004.

SOARES, L.H.B.; ALBUQUERQUE, P.M; ASSMANN, F.; AYUB, M.A.Z. Physicochemical properties of three food proteins treated with transglutaminase. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1219-1223, 2004.

SPIGNO, G.; DE FAVERI, D.M. Gelatinization kinetics of rice starch studied by non-isothermal calorimetric technique: influence of extraction method, water concentration and heating rate. **Journal of Food Engineering**, v.62, p.337-344, 2004.

STATISTICA for Windows – Release 7.0, StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA, 2004.

STONE, H.; SIDEL, J. **Sensory evaluation practices**. New York: Academic Press, 1993. 337p.

SOZER,N.; DALGIÇ, A.C; KAYA, A. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. **Journal of Food Engineering**, v.81, p.476-484, 2007.

SUDHA, M. L.; RAMASARMA, P. R.; RAO, G. V. Wheat bran stabilization and its use in the preparation of high-fiber pasta. **Food Science and Technology International**, v. 17, n. 1, p. 47-57, 2011.

TACO – **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos** – Versão 2. (2006). Disponível em: <www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2011.

TAKÁCS, K.; GELENCSÉR, E.; KOVÁCS, E.T. Effect of transglutaminase on the quality of wheat-based pasta products. **European Food Research Technology**, v. 226, p. 603–611, 2008.

TBCAUSP - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos 5.0**. (2011). Disponível em: <www.fcf.usp.br/tabela/>. Acesso em: 20 de novembro de 2011.

THOMPSON, L. U. Antioxidant and hormone-mediated health benefits of whole grains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 34, p. 473-497, 1994.

USDA – **National Nutrient Database for Standard Reference**. Disponível em: <www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/>. Acesso em: 20 de novembro de 2011.

VERNAZA, M.G.; CLERICI, M.T.P.S.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Evaluation of the in vitro glycemic index of a fiber -rich extruded breakfast cereal produced with organic passion fruit fiber and corn flour. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.4, p.964-968, 2010.

WANG, F.; HUANG, W.; KIM, Y.; LIU, R.; TILLEY, M. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin. **Journal of Cereal Science**, v. 54, p. 53-59, 2011.

WEBER, F.H. CLERICI, M.T.P.S.; COLLARES-QUEIROZ, F.P.; CHANG, Y.K. Interaction of guar and xanthan gums with starch in the gels obtained from normal, waxy and high-amylose corn starches. **Starch/Stärke**, v.61, p.28-34, 2009.

WU, J. P.; CORKE, H. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 2587-2594, 2005.

YALLA, S. R.; MANTHEY, F. A. Effect of semolina and absorption level on extrusion of spaghetti containing non-traditional ingredients. **Journal of Science and Food Agricultural**, v.86, p. 841-848, 2006.

ARTIGO 3. Estudo da influência da adição de amido resistente e de transglutaminase nas características tecnológicas de espaguete funcionalLeandra Zafalon JAEKEL^{1*}; Yoon Kil CHANG¹

¹Departamento de Tecnologia de Alimentos - Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - C.P. 6121 - CEP 13083-862 - Campinas-SP;

E-mails: leandrazafalon@gmail.com; yokic@fea.unicamp.br

*Autor para correspondência.

Resumo

O uso de amido resistente em novos produtos vem aumentando devido aos benefícios à saúde associado ao consumo de fibras. Entretanto, sua utilização em produtos, como massas alimentícias, é limitada por enfraquecer a rede de glúten. Uma possibilidade para solucionar este problema é a adição da enzima transglutaminase. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da adição de amido resistente (AR) e de transglutaminase (TG) nas características de cozimento, textura, cor e na solubilidade de proteínas de espaguete, através de um delineamento composto central rotacional de duas variáveis independentes (x_1 = AR, 0 a 20 %; x_2 = TG, 0,2 a 1,0 %). As principais variáveis dependentes estudadas foram: características farinográficas, amido resistente, cor, características de cozimento e de textura e solubilidade de proteínas. Através da Metodologia de Superfície de Resposta analisou-se os resultados que demonstraram que AR e TG apresentaram influência na qualidade dos produtos, sendo estatisticamente significativas ($p < 0,10$) para cor, tempo ótimo de cozimento, aumento de peso, elasticidade e teor de amido resistente. A luminosidade (L^*) foi maior com o aumento de AR e TG. Maiores teores de AR diminuem o tempo de cozimento e a elasticidade. Dentre as variáveis independentes, AR apresentou maior efeito sobre as variáveis dependentes estudadas. Algumas formulações desenvolvidas nesse estudo constituem fontes de fibra alimentar, pois contêm mais de 3 % de fibra alimentar no produto pronto para o consumo.

Palavras-chave: amido resistente, transglutaminase, massas alimentícias, fonte de fibra.

Abstract

The use of resistant starch in new food products is increasing due to the health benefits associated with fiber intake. However, its use in products such as pasta is limited because it weakens the gluten network. One way to solve this problem is by adding enzyme transglutaminase into the formulation. The objective of this study was to evaluate the influence of resistant starch (RS) and transglutaminase (TG) on spaghetti cooking characteristics, texture, color and protein solubility using a central composite rotational design of two independent variables ($x_1 = \text{RS } 0 \text{ to } 20\%$; $x_2 = \text{TG } 0.2 \text{ to } 1.0\%$). The main dependent variables studied were farinographic characteristics, resistant starch, color, cooking and texture characteristics and protein solubility. The results were analyzed using Response Surface Methodology, which demonstrated that RS and TG influenced the product quality, being statistically significant ($p < 0.10$) for the RS content, color, optimum cooking time, weight increase and elasticity. Among the independent variables, RS presented the greatest effect on the dependent variables studied. The most pasta elaborated in this study could be considered source of dietary fiber since they contain more than 3% of this component in its formulation.

Key-words: resistant starch, transglutaminase, pasta, fiber source.

1 INTRODUÇÃO

O interesse em desenvolver alimentos funcionais está aumentando, impulsionado em grande parte pelo potencial mercado para os alimentos que podem melhorar a saúde e o bem-estar dos consumidores. As autoridades de saúde em todo o mundo recomendam uma redução no consumo de gorduras e animais e um aumento da ingestão de cereais integrais, que são importante fonte de fibra alimentar (BUSTOS et al., 2011). Por exercer efeito semelhante ao das fibras, o amido resistente (AR) tem sido empregado em diversos produtos.

Além de fonte de fibras, produtos contendo AR aumentam a sensação de saciedade (ALSAFFAR, 2011) e atuam como prebióticos. O AR não é digerido pelo organismo, quando chega ao cólon é utilizado como substrato, principalmente, pelas bifidobactérias, e ainda, provoca o aumento do volume das fezes, que passam pelo intestino delgado, arrastando sais biliares e triglicerídeos, impedindo a absorção total de gorduras, colesterol e glicose (LOBO; SILVA, 2003; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005; ALSAFFAR, 2011).

O amido resistente é um carboidrato complexo, resiste à digestão enzimática no intestino delgado não fornecendo glicose ao organismo (GOÑI et

al., 1996; ALSAFFAR, 2011). É classificado em cinco tipos dependendo da sua estrutura física, susceptibilidade à hidrólise enzimática, forma como se apresenta nas diferentes fontes e condições de processamento (gelatinização, retrogradação e modificações químicas) (THOMPSON, 2000; LOBO; SILVA, 2003; SALGADO et al., 2005; JIANG, 2010).

O AR1 refere-se aos grânulos de amido fisicamente inacessíveis na matriz do alimento. O processamento e cozimento dos alimentos pode desintegrar a parede celular, o que pode tornar o amido mais disponível para a digestão (GRAY, 2006; FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010, VERNAZA et al., 2012). AR2 são os grânulos de amido nativo, localizados no interior da célula vegetal, são altamente resistentes à digestão pela enzima α -amilase em função da forma compacta e estrutura parcialmente cristalina, estão presentes na batata crua, banana verde e em amidos com alto teor de amilose, como o amido de algumas variedades de milho (GRAY, 2006; ALSAFFAR, 2011; VERNAZA et al., 2012). AR3 constitui os polímeros de amido retrogradado, principalmente amilose. Encontra-se em pães, batatas cozidas e resfriadas e cereais matinais, é resistente à digestão pela amilase pancreática (SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006; SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007; ALSAFFAR, 2011). O AR4 é modificado quimicamente, com grupamentos éteres, ésteres e fosfatos, amidos com ligações cruzadas, sendo estes também resistentes à digestão no intestino delgado. E, o AR5 é formado pelo complexo de amilose-lípideo, apresenta uma elevada temperatura de dissociação e limita o inchamento dos grânulos, e é estável ao processamento dos alimentos. O complexo amilose-lípideo é resistente à hidrólise enzimática (CHAMP; FAISANT, 1996; LOBO; SILVA, 2003; GRAY, 2006; SAJILATA; SINGHAL; KULKARNI, 2006, JIANG, 2010). O AR2 de milho com alto teor de amilose é importante do ponto de vista tecnológico, pois mantém sua estrutura, mesmo durante o processamento e preparo de muitos alimentos (NUGENT, 2005).

Massas alimentícias são alimentos populares, de fácil preparo, podendo ser utilizadas em pratos com carnes, vegetais, azeites, molhos, sopas entre outros. Devido a este cenário tão positivo, uma vida de prateleira longa e tamanha

diversidade de aplicação, as massas alimentícias devem ser vistas como uma das opções mais promissoras para inclusões de matérias-primas com propriedades funcionais. Contudo, o uso de amido resistente pode trazer implicações tecnológicas por reduzir a concentração de glúten, o que pode prejudicar características de cozimento e textura. Uma alternativa para se reforçar a rede de glúten é a adição da enzima transglutaminase que atua, principalmente, formando ligações cruzadas entre grupamentos de lisina e glutamina criando uma ligação ϵ -(γ -glutamil)-lisina (BASMAN et al., 2006; DUBE et al., 2007; AALAMI; LEELAVATHI, 2008; BELLIDO; HATCHER, 2011; WANG et al., 2011).

Neste trabalho, objetivou-se avaliar a influência da adição de amido resistente e de transglutaminase nas características de cozimento e textura, cor e na solubilidade de proteínas de espaguetes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As matérias-primas utilizadas na produção das massas alimentícias foram: farinha de trigo (FT) de *Triticum aestivum*, fornecida pela empresa Pastifício Selmi (Sumaré, Brasil); amido resistente (AR) tipo 2 (*Hi Maize 260* – amido de milho com alto teor de amilose), fornecido pela *National Starch* (Trombudo Central, Brasil) e enzima transglutaminase (TG), em pó, obtida do *Streptomyces mobaraense*, com atividade enzimática de 20–34 U.g⁻¹, fornecida por *Ajinomoto* do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos LTDA. (São Paulo, Brasil).

2.1 Métodos

2.1.1 Caracterização física e química das matérias-primas

2.1.1.1 Composição centesimal

A farinha de trigo e o amido resistente foram caracterizados, em triplicata, quanto a composição centesimal através da determinação do teor de umidade, proteína, lipídeos, cinzas, segundo os respectivos métodos oficiais nº 44-15.02, 46-13.01, 30-25.01 e 08-10.01 (AACC, 2010). Carboidratos foram determinados por diferença (subtraindo os valores de umidade, proteína, gordura e cinzas de 100). O teor de fibra alimentar total de FT e AR foi determinado por análise

enzimática gravimétrica, de acordo com o método oficial nº 985.29 da AOAC (AOAC, 1997).

2.1.1.2 Teor de amido resistente

O teor de amido resistente nas matérias-primas (FT e AR) foi determinado conforme método enzimático proposto por Goñi et al. (1996), em quadruplicata.

2.1.1.3 Granulometria

O tamanho de partículas de FT foi determinada, em triplicata, pelo método oficial nº 965.22 da AOAC (AOAC, 1997), em agitador de peneiras *Granutest* modelo 295 (São Paulo/Brasil), e os resultados obtidos expressos em porcentagem.

2.1.1.4 Cor

A cor de FT e AR foi determinada instrumentalmente, em triplicata, usando um colorímetro Mini *Scan*TM XE, modelo nº 45/0-L (Reston/USA), previamente calibrado no modo transmitância total para leitura dos parâmetros L*, a* e b*. As leituras foram feitas com iluminante D65, ângulo de visão de 10° e calibração *reflectance specular included* (RSIN).

2.1.1.5 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As propriedades térmicas de FT e AR foram determinadas, em triplicata, utilizando-se calorímetro diferencial de varredura (DSC SHIMADZU-TA60) (Kyoto, Japão). Foram pesados 3 mg de amostra em cápsulas de alumínio e foram adicionados 7 µL de água deionizada. As cápsulas foram seladas hermeticamente e mantidas em temperatura ambiente por 1 h antes da análise. Foi utilizada uma cápsula de alumínio vazia como referência. Empregou-se uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, varrendo uma faixa de temperatura de 30 °C a 95 °C. O sistema foi calibrado com índio (ΔH de fusão de 28,71 J/g e ponto de fusão de 156,6 °C) com elevada pureza (99,9 %) e água deionizada (ΔH de fusão de 335 J/g e ponto de fusão de 0,01 °C). Os valores de temperatura inicial de

gelatinização (T_o), temperatura de pico (T_p) e temperatura final de gelatinização (T_f), bem como os valores de entalpia (ΔH) foram obtidos a partir dos termogramas das amostras analisadas utilizando o *Universal Analyzer TA Software*.

2.1.2 Caracterização reológica das matérias-primas

2.1.2.1 Farinografia

As características farinográficas de FT foram avaliadas através do farinógrafo *Brabender* (Duisburg, Alemanha), segundo método oficial 52-21.01 da AACC (AACC, 2010). Os parâmetros obtidos a partir do farinograma foram: absorção de água (%), tempo de chegada (min), tempo de desenvolvimento da massa (min), tempo de saída (min), estabilidade (min) e índice de tolerância à mistura (UF).

2.1.2.2 *Falling number* (número de queda)

O *Falling number* ou “número de queda” de FT foi determinado no equipamento *Falling number* da marca *Perten Instruments*, modelo 1800 (Huddinge, Suécia), de acordo com o método oficial 56-81.03 da AACC (AACC, 2010), utilizando 7 gramas de farinha corrigidos para 14 % de umidade.

2.1.2.3 Propriedades viscoamilográficas

As características viscoamilográficas de FT foram determinadas com o analisador rápido de viscosidade (RVA - *Rapid Visco Analyser*), utilizando o programa *Thermocline for Windows versão 2.3. Newport Scientific Pty Ltd.* (Warriewood, Austrália), segundo a método oficial nº 162 proposto pelo ICC (ICC, 1995), utilizando o programa Standard 1.

Foram adicionados 25 mL de água destilada em quatro gramas de farinha (corrigidos para a base de 14 % de umidade). A mistura foi agitada a 960 rpm por 10 segundos e, a seguir, a 160 rpm até o término do processo. O perfil de temperatura padrão consistiu de uma temperatura inicial de 50 °C, mantida por 2 minutos sendo aumentada até a temperatura de 95 °C, permanecendo constante por 3 minutos. O resfriamento ocorreu até atingir a temperatura final de 50 °C. Os

parâmetros analisados foram: temperatura de pasta ($^{\circ}\text{C}$), viscosidade máxima (cP), viscosidade mínima à temperatura constante (95°C) (cP), viscosidade final (cP), queda de viscosidade (cP) e tendência à retrogradação (cP).

2.2 Formulações e processo de obtenção dos espaguetes

2.2.1. Planejamento experimental

Os espaguetes foram elaborados baseados em uma formulação controle constituída de farinha de trigo (100 %) e água (32 %), nas demais formulações utilizou-se diferentes percentuais de amido resistente e transglutaminase.

A obtenção das massas alimentícias seguiu um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2^2 para estudar os efeitos do amido resistente *Hi-maize 260* (0 - 20 %) e da enzima transglutaminase (0,2 - 1,0 %, p/p). Foram realizados um total de 12 ensaios, sendo 4 fatoriais (combinações entre os níveis -1 e $+1$), 4 axiais (uma variável no nível $\pm \alpha$ e a outra em 0) e 4 centrais (as duas variáveis no nível 0). Os níveis das variáveis independentes e os ensaios realizados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Matriz do planejamento experimental dos ensaios realizados de acordo com o Delineamento Central Composto Rotacional (DCCR) 2^2

| Ensaio | Amido resistente (%) | | Transglutaminase (%) | |
|--------|----------------------|------------------|----------------------|----------------|
| | Valor codificado | Valor codificado | Valor real (%) | Valor real (%) |
| 1 | -1 | 2,91 | -1 | 0,32 |
| 2 | +1 | 17,09 | -1 | 0,32 |
| 3 | -1 | 2,91 | +1 | 0,88 |
| 4 | +1 | 17,09 | +1 | 0,88 |
| 5 | $-\alpha$ | 0 | 0 | 0,60 |
| 6 | $+\alpha$ | 20 | 0 | 0,60 |
| 7 | 0 | 10 | $-\alpha$ | 0,20 |
| 8 | 0 | 10 | $+\alpha$ | 1,00 |
| 9 | 0 | 10 | 0 | 0,60 |
| 10 | 0 | 10 | 0 | 0,60 |
| 11 | 0 | 10 | 0 | 0,60 |
| 12 | 0 | 10 | 0 | 0,60 |

$\pm |\alpha| = \pm 1,41$

2.2.2 Sistema farinha de trigo, amido resistente e transglutaminase

As diferentes combinações de farinha de trigo, amido resistente e enzima foram avaliadas quanto às características farinográficas, de acordo com o método citado no item 2.1.2.1, para determinação da quantidade de água a ser adicionada em cada ensaio do planejamento experimental. Foram realizados pré-testes com a formulação correspondente ao ponto central do delineamento estatístico e verificou-se que a adição de 35 % de água foi suficiente para elaborar uma massa alimentícia com características visuais adequadas. Sendo assim, a quantidade de água necessária para cada ensaio foi determinada conforme equação citada por Vernaza (2011):

$$\text{Equação 1: } M_{\text{água}} = (A \times B)/C$$

Onde: $M_{\text{água}}$ = quantidade de água a ser adicionada para obtenção de massas (%); A= quantidade de água ideal do ponto central (35 %); B = Absorção determinada em cada ensaio através do Farinógrafo; e C = Absorção de água do ponto central (61 %).

2.2.3 Processamento dos espaguetes

A produção das massas alimentícias foi realizada no Pastifício Selmi e foi utilizado o método 66-50.01 (AACC, 2010) modificado. As matérias-primas (FT, AR e TG) foram pré-misturadas por 5 minutos em agitador homegeneizador em “V” da marca *Tecnal* (Piracicaba, Brasil), e processadas em extrusor a vácuo *Food Processing Systems*, modelo 250-LAB 2.V (Ridgewood, Nova York). A água (54 °C) foi adicionada conforme uma absorção determinada por farinografia (item 2.1.2.1 e 2.2.2). A etapa de mistura transcorreu em 20 minutos, seguida da extrusão, obtendo-se, por corte manual, massas alimentícias do tipo espaguete com 1,70 mm de espessura (matriz n° 49149). A secagem foi realizada em secador industrial Mega Brasil (Mauá/Brasil), com temperaturas entre 45 e 85 °C e UR de 74 a 85 % por aproximadamente 12 h, até o produto atingir uma umidade

abaixo de 12 %. As massas alimentícias foram armazenadas em embalagens de polietileno.

2.3. Avaliação da qualidade tecnológica dos espaguetes

2.3.1 Cor

As massas cruas foram analisadas como em 2.1.1.4.

2.3.2 Características de cozimento

O teste de cozimento foi realizado segundo o método 66-50.01 (AACC, 2010) e os parâmetros avaliados foram tempo ótimo de cozimento (min), perda de sólidos solúveis na água de cozimento (%), aumento de peso (%) e de volume do produto cozido (%).

2.3.3. Características de textura

A textura das massas alimentícias cozidas (no tempo ótimo de cozimento determinado no item 2.3.2) foi analisada utilizando-se o aparelho Texturômetro TA-XT2i, da marca *Stable Micro Systems* (Haslemere, Inglaterra), seguindo o método 66-50.01 da AACC (AACC, 2010) para avaliação dos seguintes parâmetros:

Firmeza

Os parâmetros utilizados foram: força em compressão (N); velocidade pré-teste (2 mm/s); velocidade de teste (0,17 mm/s); velocidade pós-teste (10 mm/s); distância (4,50 mm) e o *probe* A/LKB-F. A análise foi realizada com 15 repetições para cada amostra. O valor de pico máximo da curva foi considerado como a firmeza do produto, e expresso em N.

Elasticidade

As condições operacionais foram: força em tensão (N), velocidade pré-teste (1,0 mm/s); velocidade de teste (3,0 mm/s); velocidade pós-teste (10 mm/s) e o *probe* A/SPR. O teste baseia-se na extensão do filamento de massa cozida, pela aplicação de uma força de tensão entre suas extremidades até a sua completa ruptura. O teste foi realizado com 15 repetições por amostra.

Adesividade

Foi determinada utilizando o *probe* HDP/PFS, utilizando-se as seguintes condições operacionais: velocidade pré-teste (1,0mm/s); velocidade de teste (0,5 mm/s); velocidade pós-teste (10 mm/s); distância (100 mm), força (9,81 N) e tempo (2 segundos).

2.3.4 Teor de amido resistente

O teor de amido resistente das massas alimentícias cruas foi determinado como em 2.1.1.2. Neste caso, as amostras foram moídas até granulometria inferior a 250 μm e secas em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 °C/24 h).

2.4 Solubilidade de proteínas

A solubilidade das proteínas foi determinada segundo Aalami e Leelavathi (2008). Em amostras contendo 1 g de espaguete triturado (passado por peneira com abertura de 250 μm) e seco em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 °C/24 h), foi adicionado de 10 mL de solução tampão contendo fosfato (pH 7,5 e 27,5 mM), 4 % (m/v) de dodecil sulfato de sódio e 5 % de β -mercaptoetanol e agitado em vórtex a cada 5 min durante 30 min. A suspensão foi centrifugada a 8000 x g em centrífuga refrigerada a 20 °C por 10 minutos. O sobrenadante foi transferido para tubo de proteína micro *Kjeldahl* e o conteúdo de proteína foi determinado de acordo com o método 46-13.01 da AACC (AACC, 2010).

2.5 Análise estatística

Os resultados foram analisados através do programa estatístico *Statistica* 7.0 (STATISTICA, 2004) para cálculo dos efeitos, do coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10%. Para o presente trabalho foi adotado coeficiente de regressão (R^2) mínimo da ANOVA de 0,80 para garantir a validade das predições efetuadas pelo modelo matemático e elaboração das superfícies de resposta. A comparação de médias através de teste de Tukey foi realizada com nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização física e química das matérias-primas

3.1.1 Composição centesimal

Na Tabela 2, visualiza-se a composição centesimal das matérias-primas. O teor de umidade da FT (10,08 %), encontra-se dentro do limite estabelecido pela Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 da ANVISA (BRASIL, 2011). Os demais resultados de FT indicam que esta farinha encontra-se dentro dos limites estipulados pela Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005 (BRASIL, 2011a) e poderia ser enquadrada no Tipo 1, a qual deve conter teor de proteína mínimo de 7,5 % e teor de cinzas máximo de 0,8 %. A FT utilizada nesse estudo tem composição centesimal semelhante à da farinha usada em estudo de Vernaza (2011). O valor de fibra alimentar para farinha de trigo está de acordo com o citado pela Tabela de Composição de Alimentos - TACO (2011), Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TBCAUSP (2011) e Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América - USDA (2011).

Tabela 2. Composição centesimal farinha de trigo e amido resistente

| Componente (%) | Farinha de trigo | Amido resistente |
|----------------------|------------------|------------------|
| Umidade | 10,08±0,04 | 11,97±0,15 |
| Proteínas | 11,36±0,2 | 0,65±0,04 |
| Cinzas | 0,46±0,01 | 0,03±<0,01 |
| Lipídeos | 1,09±0,01 | 0,20±0,05 |
| Carboidratos totais* | 77,01 | 87,15 |
| Fibra alimentar | 1,36±0,29 | 41,54±1,10 |

Média de 4 repetições ± desvio padrão. *Calculados por diferença (incluem a fração de fibra alimentar).

O teor de umidade encontrado para AR (11,97 %) encontra-se dentro dos limites estipulados pela legislação pertinente (BRASIL, 2011) que estabelece o máximo de 15 % de umidade em farinhas e amidos. Os valores encontram-se próximos aos citados por Vernaza (2011).

O conteúdo de fibra alimentar do AR está de acordo com os dados da literatura; onde foram citados valores entre 30 % e 60% (CHO; DREHER, 2001; BROWN, 2004; ALMEIDA; CHANG; STEEL, 2010). No entanto, as especificações do fabricante do amido resistente *Hi-Maize* 260, citam um teor mínimo de 60 %

(base seca) de fibra alimentar total. O método oficial da AOAC nº 985.29 (1997) apresenta uma falha, pois não inclui componentes como amido resistente, oligossacarídeos não digeríveis (inulina e frutooligosacarídeos) e polissacarídeos (polidextrose) mesmo que estes componentes tenham efeitos fisiológicos como os da fibra alimentar. Outros métodos foram desenvolvidos para superar esta falha (NELSON, 2001).

3.1.2 Teor de amido resistente das matérias-primas

O teor de amido resistente na FT foi de $1,16 \pm 0,09$ %. Na literatura, encontra-se valores que variam de 0,8 a 2,13 % (GOÑI et al., 1996; THARANATHAN; THARANATHAN, 2001; VERNAZA, 2011).

A amostra *Hi Maize 260* trata-se de um amido resistente tipo 2, obtido de amido de milho com alto teor de amilose, na qual obteve-se um teor de $47,01 \pm 1,05$ % de amido resistente. O valor encontrado foi maior que o citado por Venaza (2011) (44,34 %) e por Bustos, Perez e León (2011) (33 %). Tal diferença pode ser decorrente da fonte botânica, que pode variar de um lote para outro.

3.1.3 Granulometria

Os valores de granulometria da FT encontram-se na Tabela 3. A farinha de trigo apresentou 96 % de suas partículas com granulometria inferior a 0,250 mm, estando de acordo com a Instrução Normativa nº 8, de 02 de junho de 2005 (BRASIL, 2011a), para farinhas de trigo Tipo 1.

Tabela 3. Distribuição granulométrica da farinha de trigo

| Mesh | Abertura (mm) | Farinha de trigo |
|-------|---------------|------------------|
| 20 | 0,840 | $0,55 \pm 0,01$ |
| 35 | 0,500 | $0,86 \pm 0,09$ |
| 60 | 0,250 | $3,67 \pm 0,20$ |
| 80 | 0,177 | $15,01 \pm 0,26$ |
| 100 | 0,149 | $7,19 \pm 0,50$ |
| Fundo | - | $74,09 \pm 0,90$ |

Média de 3 repetições \pm desvio padrão.

3.1.4 Cor

A Tabela 4 mostra os valores de cor para os parâmetros L^* , a^* , b^* das amostras. Verificou-se que as matérias-primas apresentam diferença estatística ($p < 0,05$) nos três parâmetros analisados. A amostra de AR tem maior luminosidade, ficando mais próxima à cor branca ($L^* = 100$), menor valor de a^* e de b^* .

Tabela 4. Valores dos parâmetros L^* , a^* , b^* da farinha de trigo e amido resistente

| Amostra | L^* | a^* | b^* |
|------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Farinha de trigo | 96,25±0,46 ^b | 0,36±0,46 ^a | 9,93±0,46 ^a |
| Amido resistente | 98,44±0,46 ^a | 0,11±0,46 ^b | 4,77±0,46 ^b |

Média de 3 determinações ± desvio padrão. Médias com letras distintas na mesma coluna demonstram diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.1.5 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

Os termogramas obtidos na análise de calorimetria diferencial de varredura das matérias-primas encontram-se na Figura 1.

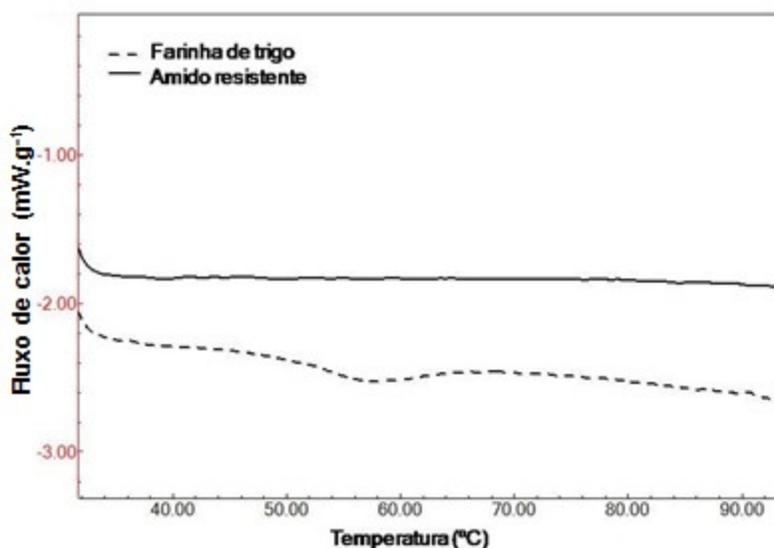


Figura 1. Termograma de calorimetria diferencial de varredura da farinha de trigo e amido resistente.

Nessa análise mede-se o fluxo de calor em função da temperatura. O aquecimento do amido, na presença de água, produz um pico endotérmico e começa a ocorrer a perda de birrefringência no começo do pico, onde a curva é desviada da linha base. A área sob a curva é a energia necessária para a

transição de um estado ordenado para um desordenado, chamado entalpia, que no caso do amido, é a transição entre o estado cristalino e a fusão (HOSENEY, 1998).

Neste estudo, a temperatura de gelatinização obtida na curva do termograma foi definida como a temperatura de pico (T_p) e para a entalpia de gelatinização foi considerada a quantidade de energia requerida da transição de estado. Conforme Hosene (1998), a faixa de gelatinização do trigo encontra-se entre os 55 °C e 65 °C.

No termograma para FT obteve-se valores de temperatura inicial de gelatinização (T_o) de 51,90±0,13 °C, temperatura de pico (T_p) de 57,53±0,02 °C, temperatura final de gelatinização (T_f) de 65,58±0,18 °C e variação da entalpia de gelatinização (ΔH) de 4,52±0,02 J/g. Vernaza (2011) encontrou valores semelhantes para farinha de trigo.

Como visto na Figura 1, a amostra *Hi Maize* não apresentou nenhuma curva endotérmica na faixa de temperatura estudada (30 a 95 °C). Esses tipos de amidos apresentam valores de gelatinização maiores que 100 °C em função da sua estrutura altamente cristalina. Vernaza (2011), mesmo estudando uma faixa maior de temperatura (até 130 °C), não obteve nenhuma curva endotérmica para os amidos resistentes *Hi Maize* e *Promitor*.

3.2 Caracterização reológica da farinha de trigo

3.2.1 Farinografia

A farinografia mede a resistência da massa durante a mistura nos sucessivos estágios do seu desenvolvimento. Por meio de um processo de mistura relativamente suave em um período de 20 minutos, no qual a massa é formada e desenvolvida até atingir a consistência máxima e, finalmente, é sobremisturada (PIZZINATTO, 1999).

Observa-se (Tabela 5) que a farinha de trigo utilizada, no geral, classifica-se como forte segundo a classificação de Pizzinatto (1999), com base nos valores de absorção, tempo de desenvolvimento, estabilidade e índice de tolerância à mistura. Sendo o mais indicado para massas alimentícias uma farinha muito forte.

Tabela 5. Características farinográficas da farinha de trigo

| Parâmetros | Farinha de trigo |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Absorção de água (%) | 59,4 |
| Tempo de chegada (min) | 2,17±0,24 |
| Tempo de desenvolvimento (min) | 8,67±0,24 |
| Tempo de saída (min) | 11,67±0,47 |
| Estabilidade (min) | 9,50±0,41 |
| Índice de tolerância à mistura (UF) | 26,67±4,71 |

Medias de 3 determinações ± desvio padrão; UF= Unidades Farinográficas.

Com exceção da estabilidade, que foi inferior, todos os demais parâmetros deste estudo foram similares aos encontrados por Almeida, Chang e Steel (2010) e Vernaza (2011) em farinha de trigo.

3.2.2 *Falling number*

O valor de *Falling number* mede indiretamente a atividade da enzima α -amilase. Esta análise fundamenta-se na rápida gelatinização do amido em uma suspensão aquosa, quando submetido a tratamento térmico em banho de água em ebulição (100 °C) e na subsequente liquefação do gel formado pela ação da α -amilase presente na amostra. A atividade enzimática da FT foi de 507,25 ± 0,83 segundos. Valores elevados, acima de 400 segundos, indicam pouca atividade de α -amilase (POSNER; HIBBS, 1999). Esta característica é importante para a produção de massas alimentícias, pois baixa atividade enzimática ajuda a manter a qualidade do produto, tanto em textura como em tolerância ao cozimento (PIZZINATTO, 1999).

3.2.3 Características viscoamilográficas

As características viscoamilográficas encontram-se na Tabela 6. Os resultados obtidos nessa análise indicaram um rápido aumento de viscosidade durante a fase de aquecimento devido ao inchamento dos grânulos de amido, lixiviação da amilose e consequente absorção de água. A temperatura e agitação constantes promovem uma queda da viscosidade em função do rompimento dos grânulos de amido e orientação das cadeias de amilopectina e amilose no sentido da agitação. O resfriamento ocasiona a diminuição da energia do sistema e a

formação de ligações de hidrogênio entre as cadeias de amido, principalmente amilose, resultando em aumento de viscosidade, devido a reorganização das cadeias, também denominado de retrogradação, conforme descrito por Huang e Rooney (2001) e Lei et al. (2008). Os valores obtidos concordam com estudo de Vernaza (2011), no qual foram citados valores semelhantes para os parâmetros de RVA de farinha de trigo.

Tabela 6. Propriedades viscoamilográficas da farinha de trigo

| Parâmetros | Farinha de trigo |
|---|-------------------------|
| Temperatura de pasta (°C) | 66,95±0,12 |
| Viscosidade máxima a quente (cP) | 2137,33±44,15 |
| Viscosidade mínima à temperatura constante 95 °C (cP) | 966,00±12,67 |
| Viscosidade final (cP) | 2295,67±9,57 |
| Queda de viscosidade (cP) | 1171,33±32,99 |
| Tendência à retrogradação (cP) | 1329,67±14,05 |

Medias de 3 determinações ± desvio padrão.

A amostra AR não desenvolveu curva viscoamilográfica, nas condições experimentais, o que normalmente ocorre em amidos resistentes. Estes apresentam valores de gelatinização acima de 100 °C e se comportam de forma diferente da farinha de trigo e de amido nativo durante o cozimento e processamento (VERNAZA, 2010). Lei et al. (2008) sugerem que alguns tipos de AR resistem não só à hidrólise pelas enzimas digestivas de seres humanos, mas também permanecem de forma inalterada na maioria das condições de processamento de alimentos.

3.3 Sistema farinha de trigo, amido resistente e transglutaminase

3.3.1 Farinografia

Os parâmetros farinográficos (Tabela 7) variaram entre 59,5 e 61,9 %, 1,5 e 5 min, 7,5 e 9 min, 10,5 e 12,5 min, 7,5 e 10 min, e entre 20 e 30 UF, respectivos a absorção de água, tempo de chegada, tempo de desenvolvimento, tempo de saída estabilidade e índice de tolerância à mistura. No entanto, não foram influenciados por nenhum dos termos das variáveis independentes usadas no delineamento. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de apenas 50,14, 35,40, 43,03, 34,88, 51,40, e 72,88 %, $F_{\text{calculado}}$ 3,234, 1,762, 2,296, 1,628, 0,40 e 2,45 vezes

maior que F_{tabelado} e p-valor de 0,010, 0,041, 0,021, 0,043, 0,385, e 0,012, respectivos aos parâmetros citados acima, impossibilitando a elaboração do modelo matemático e a geração da superfície de resposta.

Os ensaios estudados no DCCR, adicionados de AR, apresentaram maior absorção de água que a farinha de trigo (59,4 %). O mesmo comportamento foi relatado em outros estudos com adição de diferentes percentuais de AR (0 a 20 %) (LEI et al., 2008; ALMEIDA; CHANG; STEEL, 2010). No entanto, o tipo de AR usado no presente trabalho apresentou pequeno efeito sob este parâmetro, o que é justificado pelo alto teor de amilose.

Tabela 7. Características farinográficas dos ensaios estudados no DCCR

| Amostras | Níveis reais | | AA | TC | TD | TS | E | ITM |
|----------|--------------|-------|------|-----|-----|------|-----|-----|
| | X_1 | X_2 | | | | | | |
| 1 | 2,91 | 0,32 | 59,9 | 2 | 8,5 | 11 | 9 | 20 |
| 2 | 17,09 | 0,32 | 61 | 3,5 | 8,5 | 11,5 | 8 | 30 |
| 3 | 2,91 | 0,88 | 60 | 2 | 8,5 | 10,5 | 8,5 | 30 |
| 4 | 17,09 | 0,88 | 61 | 3,5 | 8,5 | 11,5 | 8 | 30 |
| 5 | 0 | 0,60 | 59,5 | 1,5 | 7,5 | 11,5 | 10 | 20 |
| 6 | 20 | 0,60 | 61,9 | 5 | 9 | 12,5 | 7,5 | 20 |
| 7 | 10 | 0,20 | 61,1 | 2,5 | 8 | 11,5 | 9 | 20 |
| 8 | 10 | 1,00 | 61 | 2 | 8,5 | 11 | 9 | 30 |
| 9 | 10 | 0,60 | 61 | 2 | 8,5 | 10,5 | 8,5 | 30 |
| 10 | 10 | 0,60 | 61 | 2 | 8 | 11 | 9 | 30 |
| 11 | 10 | 0,60 | 61,3 | 2,5 | 8 | 11 | 8,5 | 30 |
| 12 | 10 | 0,60 | 61,2 | 2,5 | 8,5 | 10,5 | 8 | 30 |

X_1 e X_2 : níveis reais de amido resistente e de transglutaminase, respectivamente.

AA: absorção de água (%); TC: tempo de chegada (min); TD: tempo de desenvolvimento (min); TS: tempo de saída (min); E: estabilidade (min); ITM: índice de tolerância à mistura (UF – unidade farinográficas).

O tempo de desenvolvimento da massa é o tempo decorrido desde a adição de água na farinha até a massa atingir o ponto de maior torque. Durante a fase de mistura, a água hidrata os componentes da farinha e a massa é desenvolvida. Em estudo sobre o efeito da adição de diferentes fibras (farelo de trigo, AR e goma jataí) nos parâmetros farinográficos de farinha de trigo, os autores obtiveram o tempo de desenvolvimento variando entre 5,75 e 10 min (ALMEIDA; CHANG; STEEL, 2010).

No geral, a estabilidade dos ensaios estudados foi inferior à de FT (9,50 min). Comportamento semelhante foi observado por Lei et al. (2008) e Almeida, Chang e Steel (2010). Esses últimos autores relatam que as fibras enfraquecem a massa, fornecem consistência, porém diluem o glúten, o qual é o principal responsável pela força da massa e tolerância à mistura.

Os valores do índice de tolerância à mistura dos ensaios foram intermediários à FT (26,67 UF) e menores que os dados citados (40 a 80 UF) por Almeida, Chang e Steel (2010). Van-Hung e Morita (2004) relataram uma leve redução neste parâmetro em um trabalho com substituição de 5 a 15 % de misturas de amido resistente (92 %) e vital glúten (8 %).

As variáveis estudadas, AR e TG, não apresentaram efeito significativo ($p < 0,01$) nos parâmetros referentes à avaliação farinográfica, provavelmente pelo fato do AR apresentar alto teor de amilose, e estrutura química e granulometria diferentes comparado às fibras convencionais.

3.4 Avaliação dos espaguetes

3.4.3 Cor

A Tabela 8 apresenta os valores de L^* , a^* , b^* e ΔE dos espaguetes. Os valores para o parâmetro L^* dos ensaios do delineamento encontraram-se entre 57,53 e 64,89. Os termos linear e quadrático de AR, linear de TG e a interação AR e TG apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) sobre esta variável, obtendo-se um modelo matemático preditivo de 2ª ordem, descrito na Equação 2. Através da ANOVA ($R^2 = 89,72\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 8,45$ e $p\text{-valor} < 0,001$) foi possível gerar superfície de resposta (Figura 2), indicando que a luminosidade (L^*) aumenta com maiores valores de AR e TG, ficando mais próxima a cor branca.

$$\text{Equação 2: } Y = 59,67 + 2,39 x_1 + 0,77 x_1^2 + 0,51 x_2 + 0,87 x_1 x_2$$

Os espaguetes estudados no delineamento estatístico apresentaram L^* maior que a formulação controle, o que era esperado uma vez que o valor da amostra AR (98,44) foi maior que FT (96,25) nesse parâmetro. Hernández-Nava et

al. (2008) desenvolveram espagete com diferentes percentuais de AR de banana (0 a 20 %) e obtiveram redução no valor de L^* com o incremento de AR. O amido de banana, geralmente, apresenta uma coloração amarelada, a qual varia com o tipo de cultivar e processamento. O AR usado nesse estudo apresenta a vantagem de não alterar a coloração dos produtos obtidos com farinha de trigo refinada.

Tabela 8. Valores dos parâmetros de cor, L^* , a^* e b^* dos espaguetes

| Amostras | Níveis reais | | L^* | a^* | b^* | ΔE |
|-------------|--------------|-------|------------|------------|------------|------------|
| | X_1 | X_2 | | | | |
| Controle FT | - | - | 57,20±0,46 | 10,13±0,33 | 42,86±0,77 | - |
| 1 | 2,91 | 0,32 | 58,12±0,11 | 9,99±0,07 | 42,97±0,34 | 0,99 |
| 2 | 17,09 | 0,32 | 61,01±0,59 | 8,44±0,13 | 40,28±0,24 | 4,90 |
| 3 | 2,91 | 0,88 | 58,51±0,24 | 10,28±0,15 | 42,83±0,51 | 1,40 |
| 4 | 17,09 | 0,88 | 64,89±0,34 | 7,83±0,08 | 39,66±0,38 | 8,64 |
| 5 | 0 | 0,60 | 57,53±0,30 | 9,88±0,09 | 42,96±0,15 | 0,48 |
| 6 | 20 | 0,60 | 64,49±0,66 | 7,12±0,07 | 37,75±0,43 | 9,39 |
| 7 | 10 | 0,20 | 60,16±0,43 | 9,57±0,24 | 40,86±0,41 | 3,19 |
| 8 | 10 | 1,00 | 60,03±0,50 | 8,61±0,14 | 41,49±0,16 | 3,52 |
| 9 | 10 | 0,60 | 59,12±0,30 | 9,59±0,07 | 42,03±0,22 | 2,18 |
| 10 | 10 | 0,60 | 57,91±0,38 | 9,63±0,12 | 41,02±0,05 | 2,68 |
| 11 | 10 | 0,60 | 59,54±0,38 | 9,14±0,05 | 41,53±0,05 | 2,87 |
| 12 | 10 | 0,60 | 60,66±0,30 | 8,71±0,31 | 41,56±0,62 | 3,06 |

X_1 e X_2 : níveis reais de amido resistente e de transglutaminase, respectivamente. Média de 3 determinações \pm desvio padrão.

Os valores de a^* oscilaram entre 7,12 e 10,28. Somente os termos linear e quadrático de AR apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$). A ANOVA ($R^2 = 88,07\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 12,23$ e $p\text{-valor} < 0,001$) possibilitou a elaboração do modelo matemático (Equação 3) e a geração da superfície de resposta (Figura 2), a qual indica maiores valores para a^* com menor proporção de AR.

$$\text{Equação 3: } Y = 9,33 - 0,99 x_1 - 0,34 x_1^2$$

No parâmetro b^* , os valores variaram de 37,75 a 42,97. Esta variável foi estatisticamente influenciada apenas pelo termo linear de AR. Através da ANOVA ($R^2 = 86,96\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 20,27$ e $p\text{-valor} < 0,001$) foi possível elaborar um

modelo matemático de 1º ordem (Equação 4) e gerar superfície de resposta (Figura 2), na qual visualiza-se maior valor de b^* com 0 % de AR.

$$\text{Equação 4: } Y = 41,24 - 1,66 x_1$$

Os resultados de ΔE dos ensaios do delineamento encontram-se entre 0,48 e 9,39. Os termos linear e quadrático de AR, linear de TG e a interação AR e TG apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) sobre ΔE . Através da ANOVA ($R^2 = 96,65\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 16,39$ e $p\text{-valor} < 0,001$), foi possível elaborar um modelo matemático preditivo de 2ª ordem (Equação 5) e gerar superfície de resposta (Figura 2), que mostra que este parâmetro aumenta com maiores valores de AR e TG.

$$\text{Equação 5: } Y = 2,93 + 2,97 x_1 + 1,03 x_1^2 + 0,58 x_2 + 0,83 x_1 x_2$$

3.4.6 Características de cozimento

Na Tabela 9 encontram-se as características de cozimento dos espaguetes. O tempo ótimo de cozimento (TOC) das amostras de massas alimentícias estudadas no DCCR oscilou entre 6,42 e 8,58 min. Os termos linear e quadrático de AR e quadrático de TG apresentaram efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$). A ANOVA ($R^2 = 97,43\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 34,59$ e $p\text{-valor} < 0,001$) possibilitou a elaboração do modelo matemático (Equação 6) e a geração da superfície de resposta (Figura 2), a qual indica diminuição deste parâmetro com o incremento de AR. A presença do AR pode diluir as proteínas formadoras do glúten causando enfraquecimento da rede, o que facilita a absorção de água e, conseqüentemente, reduz o tempo de cozimento (CHILLO et al., 2008). O TOC de todas as massas alimentícias estudadas no DCCR foi inferior à amostra controle (8,75 min).

$$\text{Equação 6: } Y = 507,52 - 38,84 x_1 - 21,60 x_1^2 - 6,26 x_2^2$$

Em estudo com massas alimentícias de farinha de trigo, adicionadas de monoglicerídeos (0 a 0,7 %) e de AR2 (0 a 25 %), os valores encontrados para TOC variaram de 7,30 a 12,70 min (VERNAZA et al., 2012).

Tabela 9. Tempo ótimo de cozimento (TOC), perda de sólidos (PS), aumento de peso (AP) e aumento de volume (AV) dos espaguetes

| Amostras | Níveis reais | | TOC (min) | PS (%) | AP (%) | AV (%) |
|-------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| | X ₁ | X ₂ | | | | |
| Controle FT | - | - | 8,75±0,04 | 3,65±0,14 | 123,37±1,73 | 295,02±0,28 |
| 1 | 2,91 | 0,32 | 8,58±0,02 | 3,96±0,08 | 135,13±3,65 | 333,11±0,16 |
| 2 | 17,09 | 0,32 | 8,07±0,04 | 3,73±0,06 | 123,49±5,35 | 271,27±0,06 |
| 3 | 2,91 | 0,88 | 8,68±0,06 | 3,90±0,08 | 137,02±1,96 | 350,01±0,00 |
| 4 | 17,09 | 0,88 | 6,42±0,06 | 3,51±0,19 | 107,07±0,69 | 238,57±0,07 |
| 5 | 0 | 0,60 | 8,60±0,02 | 3,91±0,07 | 132,27±3,69 | 267,42±0,08 |
| 6 | 20 | 0,60 | 6,66±0,23 | 3,85±0,06 | 119,18±0,90 | 238,39±0,00 |
| 7 | 10 | 0,20 | 8,33±0,03 | 3,53±0,14 | 122,39±1,20 | 250,09±0,09 |
| 8 | 10 | 1,00 | 8,30±0,04 | 4,01±0,04 | 125,34±0,96 | 286,03±0,07 |
| 9 | 10 | 0,60 | 8,43±0,02 | 3,65±0,10 | 121,03±1,40 | 240,49±0,08 |
| 10 | 10 | 0,60 | 8,45±0,02 | 3,98±0,07 | 134,69±2,80 | 350,09±0,28 |
| 11 | 10 | 0,60 | 8,45±0,01 | 4,01±0,07 | 124,29±0,68 | 267,17±0,00 |
| 12 | 10 | 0,60 | 8,47±0,02 | 3,48±0,01 | 120,41±4,57 | 271,00±0,00 |

X₁ e X₂: níveis reais de farinha de trigo de grão inteiro e transglutaminase, respectivamente.
Média de 3 determinações ± desvio padrão.

As massas alimentícias estudadas no DCCR apresentaram perda de sólidos de 3,51 a 4,01. Entretanto, este parâmetro não foi influenciado por nenhum dos termos das variáveis independentes usados no delineamento. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de apenas 62,43 %, $F_{\text{calculado}}$ 0,64 vezes maior que F_{tabelado} (5;6;0,90) e p-valor de 0,213, impossibilitando a elaboração do modelo matemático e a geração da superfície de resposta.

No geral, a perda de sólidos dos espaguetes estudados no DCCR foi superior ao controle (3,65 %). O mesmo comportamento foi observado por Ovando-Martinez et al. (2009) em pesquisa com adição de farinha de banana (15, 30 e 45 %) em espaguete, os valores para este parâmetro foram de 5,8, 6,08 e 6,17 %, respectivamente, e para o espaguete convencional foi de 4,73 %. Hernández-Nava et. al. (2008) também observaram esse aumento e obtiveram valores entre (6,36 e 7,40 %) para os produtos contendo amido de banana e 6,25 % para a amostra controle. O mesmo comportamento foi observado para a cultivar de trigo MACS 1967 em estudo com espaguetes de diferentes cultivares de trigo adicionados de TG (AALAMI; LEELAVATHI, 2008).

O aumento deste parâmetro com a adição de AR pode estar relacionado à lixiviação de maior quantidade de amilose durante o cozimento. A amilose pode ser decorrente do AR (amido de milho com alto teor de amilose) e do amido nativo

da farinha, pelo enfraquecimento do glúten. De acordo com alguns autores, adição de matérias-primas sem glúten reduz o teor das proteínas formadoras da rede glúten (gliadina e glutenina), enfraquecendo a estrutura e provocando maior perda de sólidos do produto (HERNÁNDEZ-NAVA et al., 2008; OVANDO-MARTINEZ et al., 2009; VERNAZA et al., 2012). Takács, Gelencsér, Kovács (2008) estudando o efeito da enzima TG em massas alimentícias tradicionais, obtiveram redução da perda de sólidos devido à nova rede proteica formada em consequência do uso de TG, o que aumentou a quantidade subunidades proteicas de elevado peso molecular, e isso dificultou a lixiviação do amido. Neste estudo, como o glúten foi diluído, não foi observado tal efeito. Wu, Corke (2005) também não verificaram influência significativa para perda de sólidos em pesquisa de TG em *noodles*.

De acordo com Dick e Youngs (1988), para espaguete produzido com 100 % de semolina, uma perda de sólidos máxima de 8 % é considerada aceitável para massa alimentícia de boa qualidade. Com base nisso, os espaguetes contendo diferentes níveis de amido AR, deste estudo, estão dentro do esperado e podem ser considerados de boa qualidade.

O aumento de peso dos espaguetes variou de 107,07 a 137,2 %. Apenas o termo linear de AR influenciou estatisticamente ($p < 0,10$) este parâmetro. A ANOVA ($R^2 = 92,11$ %, $F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}} = 35,51$ e $p\text{-valor} < 0,001$) possibilitou a elaboração do modelo matemático preditivo de 1ª ordem (Equação 7) e a geração da superfície de resposta (Figura 2), a qual mostra aumento deste parâmetro com menores teores de AR. Com a adição de AR as proteínas da farinha foram diluídas, e estas têm uma capacidade de absorção maior que o amido, além disso, o AR enfraquece a rede de glúten, aumentando a lixiviação do amido, e, conseqüentemente diminuindo o valor deste parâmetro de cozimento.

$$\text{Equação 7: } Y = 122,59 - 10,91 x_1$$

A amostra controle apresentou aumento de peso (123,37 %) intermediário aos espaguetes estudados no delineamento estatístico. Hernández-Nava et al. (2009) não encontraram diferenças significativas ($p < 0,005$) em espaguete contendo diferentes níveis de AR de banana. Sozer, Dalgıç e Kaya (2007),

analisando as propriedades de cozimento para espaguete enriquecido com 10 % de amido resistente tipo 3, observaram aumento de peso de 136,84 e 152,17 para 6 e 8 min de cozimento, respectivamente.

Wu e Corke (2005), avaliando o efeito de TG em *noodles*, observaram redução significativa neste parâmetro, como consequência da adição de TG que torna a estrutura da rede de glúten mais compacta devido à formação de ligações cruzadas entre grupamentos de lisina e glutamato. Com isso, ocorre uma redução de aminoácidos hidrofílicos diminuindo a exposição das ligações hidrofílicas durante o cozimento e a absorção de água. Aalami e Leelavathi (2008) também observaram essa redução por efeito da TG.

O aumento de volume das massas alimentícias estudadas no DCCR variou de 238,39 a 350,09. No entanto, esta resposta não sofreu influência de nenhum dos termos das variáveis independentes estudadas. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de 45,89 %, $F_{\text{calculado}}$ 0,32 vezes maior que $F_{\text{tabelado}} (5;6;0,90)$ e p-valor de 0,482, com isso não foi possível elaborar modelo matemático e a gerar da superfície de resposta. Além disso, o aumento de volume da amostra controle (2,95) indicou valores intermediários aos produtos estudados no DCCR, o que sugere que o aumento de volume do espaguete não é alterado pela adição de AR e de TG. Vernaza et al. (2012) também não observou diferença significativa em massas alimentícias adicionadas de AR2 e monoglicerídeos e o aumento de volume variou de 1,59 a 2,09.

3.4.7 Característica de textura e solubilidade de proteínas

As características de textura e a solubilidade proteica dos espaguetes encontram-se na Tabela 10. Os valores de firmeza variaram de 3,99 a 5,18 N. As variáveis independentes não apresentaram diferença estatística ($p < 0,10$) sobre este parâmetro. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de 34,96 %, $F_{\text{calculado}}$ 1,73 vezes maior que $F_{\text{tabelado}} (1;10;0,90)$ e p-valor de 0,043, o que não permitiu a geração do modelo matemático e superfície de resposta.

A firmeza é uma das características mais importantes para massas alimentícias. Os espaguetes analisados pelo delineamento estatístico

apresentaram maior firmeza que a amostra controle (3,95 N). Resultado contrário foi obtido em estudo com espaguete adicionado de amido de banana, onde foi observada redução da firmeza com o incremento de AR (HERNÁNDEZ-NAVA et al., 2009). Nesse estudo, o fato das amostras estudadas no DCCR apresentarem maior firmeza que o controle pode estar relacionado à presença da TG, que age formando ligações cruzadas, reforçando a rede de glúten, tornando-a mais coesa (WU; CORKE, 2005; TAKÁCS; GELENCSÉR; KOVÁCS, 2008).

Tabela 10. Características de textura e solubilidade das proteínas dos espaguetes

| Amostras | Níveis reais | | Firmeza (N) | Adesividade (N) | Elasticidade (N) | Proteína Solúvel (%) |
|-------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| | X ₁ | X ₂ | | | | |
| Controle FT | - | - | 3,95±0,15 | 1,85±0,41 | 0,22±0,02 | 91,11±0,47 |
| 1 | 2,91 | 0,32 | 4,22±0,19 | 1,00±0,17 | 0,22±0,01 | 91,07±0,59 |
| 2 | 17,09 | 0,32 | 4,77±0,21 | 1,41±0,21 | 0,18±0,01 | 90,97±0,74 |
| 3 | 2,91 | 0,88 | 4,94±0,27 | 1,52±0,23 | 0,20±0,00 | 87,83±0,47 |
| 4 | 17,09 | 0,88 | 5,18±0,46 | 1,96±0,28 | 0,19±0,01 | 85,81±0,63 |
| 5 | 0 | 0,60 | 4,68±0,22 | 1,73±0,19 | 0,21±0,01 | 87,78±1,58 |
| 6 | 20 | 0,60 | 4,68±0,28 | 1,99±0,37 | 0,18±0,02 | 86,89±3,29 |
| 7 | 10 | 0,20 | 4,41±0,22 | 0,95±0,18 | 0,20±0,01 | 89,26±1,08 |
| 8 | 10 | 1,00 | 4,08±0,27 | 1,53±0,10 | 0,19±0,01 | 86,59±1,13 |
| 9 | 10 | 0,60 | 3,99±0,21 | 1,29±0,24 | 0,18±0,01 | 86,97±0,45 |
| 10 | 10 | 0,60 | 4,25±0,26 | 1,29±0,35 | 0,17±0,01 | 88,17±0,55 |
| 11 | 10 | 0,60 | 4,56±0,29 | 1,39±0,38 | 0,18±0,01 | 87,85±0,97 |
| 12 | 10 | 0,60 | 4,24±0,17 | 1,54±0,28 | 0,19±0,01 | 88,64±4,57 |

X₁ e X₂: níveis reais de farinha de trigo de grão inteiro e transglutaminase, respectivamente.

*Média de 15 determinações ± desvio padrão; ** Média de 3 determinações ± desvio padrão

Adesividade ou pegajosidade está relacionada com a quantidade e gelatinização do amido (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007). As massas alimentícias estudadas nesse DCCR apresentaram variação de 0,95 a 2,73 N para este parâmetro, o qual não foi influenciado por nenhum dos termos das variáveis independentes utilizadas nesse estudo. A ANOVA ($R^2 = 50,13 \%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 3,23$ e $p\text{-valor} = 0,010$) não possibilitou gerar um modelo matemático e superfície de resposta. Sozer, Kaya e Dalgiç (2008) e Vernaza et al. (2012) citaram reduções nos valores de adesividade para espaguetes adicionados de AR. Os pesquisadores Hernandez-Nava et al. (2009) concluíram que a adesividade está diretamente relacionada com a quantidade de amido gelatinizado. A faixa de gelatinização do AR é acima de 100 °C, então, quando adicionado às formulações,

diminui a quantidade de amido nativo na farinha, alterando o conteúdo e a gelatinização do amido, diminuindo a adesividade no produto.

Os valores de elasticidade oscilaram entre 0,17 a 0,22 N. Este parâmetro foi influenciado estatisticamente ($p < 0,10$) pelos termos lineares e quadráticos e pela interação das variáveis independentes estudadas. A ANOVA indicou coeficiente de determinação de 95,98 %, $F_{\text{calculado}}$ 9,21 vezes maior que $F_{\text{tabelado}(5;6;0,90)}$ e p-valor de $< 0,001$, o que permitiu a geração de modelo matemático preditivo de 2ª ordem (Equação 9) e geração de superfície de resposta (Figura 2), indicando que aumento deste parâmetro com menores níveis de AR e TG. O AR diminui a elasticidade dos espaguetes, por interferir na rede de glúten através da diluição das proteínas gliadina e glutenina.

Equação 9: $Y = 0,179 - 0,014 x_1 + 0,009 x_1^2 - 0,004 x_2 + 0,008 x_2^2 + 0,007 x_1 x_2$

Os espaguetes avaliados através do DCCR apresentaram redução na elasticidade quando comparados com a amostra controle (0,22 N). De acordo com Sozer, Kaya e Dalgiç (2008), isso pode ser explicado pela presença de grânulos de amido de carga neutra estarem presentes na matriz formada pelo glúten, o que torna essa matriz mais fraca. Em estudo com massas alimentícias adicionadas de AR2 e monoglicérides, Vernaza et al. (2012) relataram valores de elasticidade variando de 2,23 a 0,33 N.

O parâmetro solubilidade das proteínas dos ensaios estudados no DCCR variou entre 85,81 e 91,07 %. Nenhum dos termos das variáveis independentes influenciou significativamente ($p < 0,10$) a solubilidade das proteínas. Através da ANOVA obteve-se coeficiente de determinação de apenas 63,54 %, $F_{\text{calculado}}$ 5,29 vezes maior que $F_{\text{tabelado}(1;10;0,90)}$ e p-valor de 0,002, não sendo possível a geração de modelo matemático e de superfície de resposta.

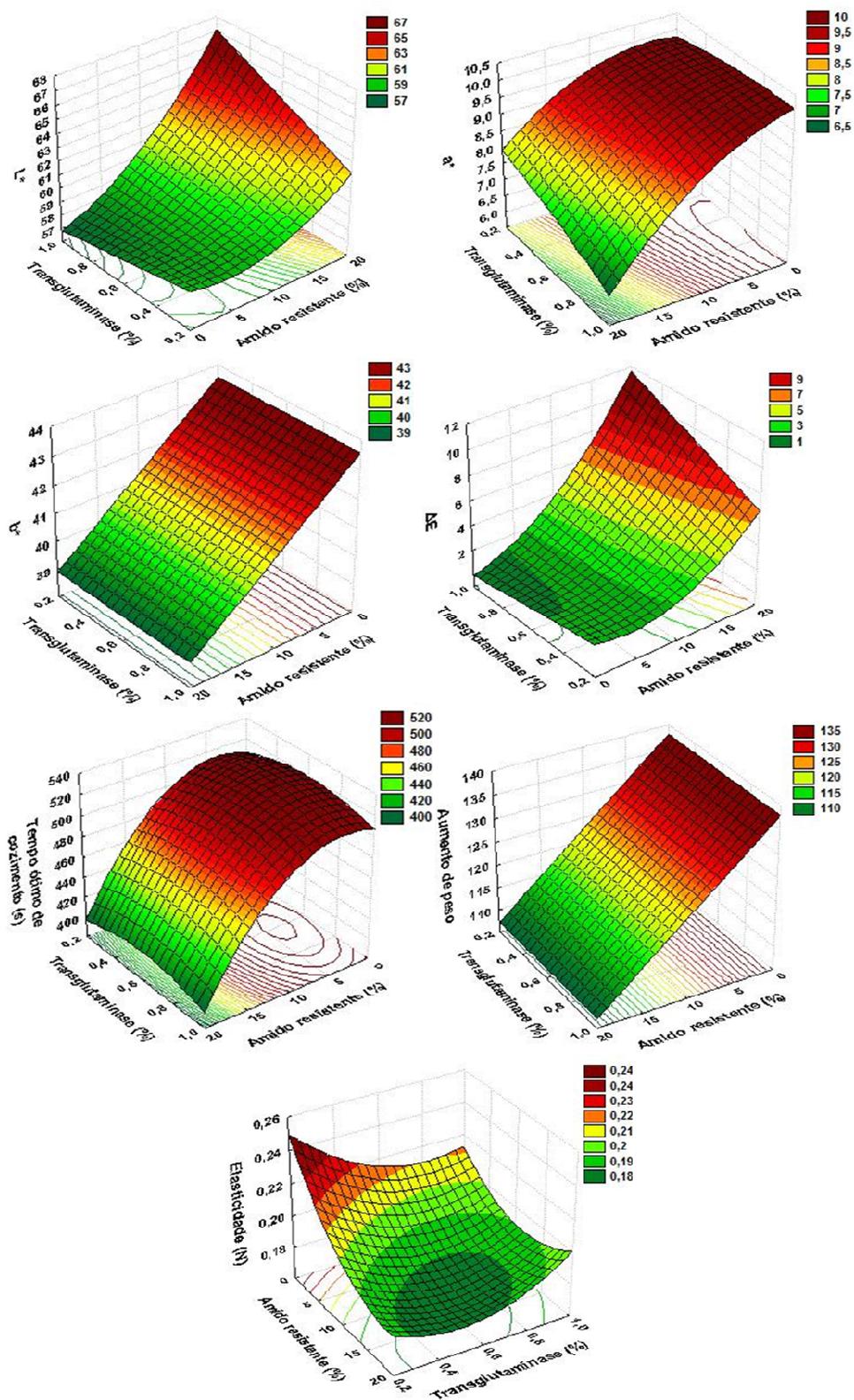


Figura 2. Superfícies de resposta para os parâmetros: L^* , a^* , b^* , ΔE , tempo ótimo de cozimento, aumento de peso e elasticidade.

As massas alimentícias estudadas no DCCR apresentaram menor teor de proteínas solúveis que a amostra controle (91,11 %). Em pesquisa com adição de TG em espaguete convencional, também foi observada redução na solubilidade das proteínas com o aumento dos níveis de enzima (0 a 3 %) devido a possível formação de ligações cruzadas, e conseqüentemente, polímeros insolúveis (AALAMI; LEELAVATHI, 2008). O menor percentual de proteínas solúveis, no presente estudo, também é explicado pela diluição da farinha de trigo pela adição de AR.

3.4.8 Amido resistente

Os valores de amido resistente dos espaguetes, estudados no DCCR, variaram entre 1,92 e 10,64 % (Tabela 11).

Tabela 11. Teor de amido resistente dos espaguetes

| Amostras | Níveis reais | | Teor de amido resistente (%) |
|-------------|----------------|----------------|------------------------------|
| | X ₁ | X ₂ | |
| Controle FT | - | - | 1,77±0,15 |
| 1 | 2,91 | 0,32 | 1,92±0,15 |
| 2 | 17,09 | 0,32 | 7,34±0,15 |
| 3 | 2,91 | 0,88 | 2,02±0,05 |
| 4 | 17,09 | 0,88 | 7,46±0,36 |
| 5 | 0 | 0,60 | 1,43±0,10 |
| 6 | 20 | 0,60 | 10,64±0,98 |
| 7 | 10 | 0,20 | 5,44±0,28 |
| 8 | 10 | 1,00 | 5,98±0,34 |
| 9 | 10 | 0,60 | 5,92±0,54 |
| 10 | 10 | 0,60 | 5,76±0,43 |
| 11 | 10 | 0,60 | 5,81±0,50 |
| 12 | 10 | 0,60 | 5,53±0,43 |

X₁ e X₂: níveis reais de farinha de trigo de grão inteiro e transglutaminase, respectivamente.

O termo linear de AR mostrou efeito estatisticamente significativo ($p < 0,10$) sobre esta variável, obtendo-se um modelo matemático preditivo de 1ª ordem, descrito na Equação 8. Através da ANOVA ($R^2 = 94,22\%$, $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}} = 49,57$ e $p\text{-valor} < 0,001$) foi possível gerar superfície de resposta (Figura 3), indicando que este parâmetro aumenta com maiores valores de AR.

$$\text{Equação 8: } Y = 5,44 + 2,99 X_1$$

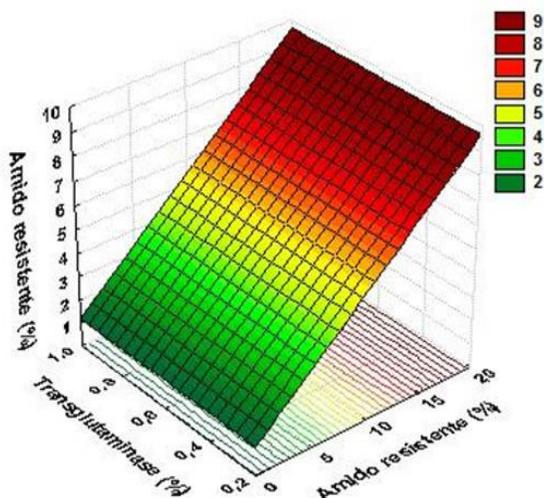


Figura 3. Superfície de resposta para o teor de amido resistente.

Segundo Nugent (2005), dentre os tipos de AR, o tipo 2 (usado nesse estudo), encontrado no milho com alto teor de amilose, mantém sua estrutura, mesmo durante o processamento e preparação de muitos alimentos.

4 CONCLUSÕES

As variáveis independentes (amido resistente e transglutaminase) foram estatisticamente significativas ($p < 0,10$) na cor (L^* , a^* , B^* e ΔE), tempo ótimo de cozimento, aumento de peso e elasticidade. A luminosidade das massas alimentícias foi maior com o aumento de AR e TG, enquanto o tempo ótimo de cozimento diminuiu com maiores teores de AR e com teores intermediários de TG. O aumento de peso aumentou com a diminuição de AR e a elasticidade foi maior com menores concentrações de AR e TG. Em geral, o amido resistente apresentou maior efeito que a TG sobre as variáveis dependentes estudadas. O menor efeito da enzima pode ser devido ao baixo teor de água usado em formulações de massas alimentícias, e também ao menor tempo de produção, comparando com produtos de panificação.

Contudo, em vista dos resultados, foi possível obter massas alimentícias de boa qualidade tecnológica com valores próximos aos encontrados para amostra controle. E ainda, massas alimentícias com características funcionais, pois a

ingestão de produtos com amido resistente também podem trazer benefícios à saúde, assim como o consumo de fibra alimentar, além de atuar como prebiótico.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP, CAPES, *National Starch*, *Bunge*, *Ajinomoto*, Pastifício Selmi e Embrapa Agroindústria de Alimentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved methods. 11th ed. St. Paul: AACC, 2010.

AALAMI, M.; LEELAVATHI, K. Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 5, p. 306-312, 2008.

ALMEIDA, E.L.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Effect of adding different dietary fiber sources on Farinographic parameters of heat flour. **Cereal Chemistry**, v.87, n.6, p.566-573, 2010.

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

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 16^a ed. Arlington: AOAC International, 1995. v.1.

BASMAN, A.; KÖKSEL, H.; NG, P. K. W. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours. **European Food Research Technology**, v. 215, p. 419-424, 2002.

BELLIDO, G. G.; HATCHER, D. W. Effects of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chinese-style noodles. **Food Chemistry**, v. 125, p. 813–822, 2011.

BRASIL. Ministério de Saúde. **Resolução**. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa**. Instrução Normativa nº 8 de 02 de junho de 2005. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Farinha de Trigo. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 04 ago. 2011a.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria**. Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 05 de setembro de 2011b.

BROWN, I. L. Applications and uses of resistant starch **Journal of AOAC International**, v.87, n.3, p.727-732, 2004.

BUSTOS, M.C.; PEREZ, G.T.; LEÓN, A.E. Sensory and nutritional attributes of fibre-enriched pasta. **LWT - Food Science and Technology**, v.44, p.1429-1434, 2011.

CHAMP, M.; FAISANT, N. Resistant starch: analytical and physiological aspects. **Boletim da Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1 p.37-43, 1996.

CHILLO, S, LAVERSE, J., FALCONE, P.M., PROTOPAPA, A., DEL NOBILE, M.A. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. **Journal of Cereal Science**, v.47, p.144-152, 2008.

CHO, S. S.; DREHER, M. L. (Eds.) **Handbook of dietary fiber**. Switzerland, New York: Marcel Dekker, Inc., 2001.

CHOO, C.L.; AZIZ, N.A.A. Effects of banana flour and b-glucan on the nutritional and sensory evaluation of noodles. **Food Chemistry**, v.119, p. 34–40, 2010.

DICK, J.W.; YOUNGS, V.L. (1988). Evaluation of durum wheat semolina and pasta in the United States. In: **Durum Wheat, Chemistry and Technology**, Fabriani G. and Lintas C. (eds). St. Paul, MN: The American Association of Cereal Chemists, p.237–248.

DUBE, M.; SCHÄFER, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.. Texturisation and modification of vegetable proteins for food applications using microbial transglutaminase. **European Food Research and Technology**, v.225, p.287-299, 2007.

FUENTES-ZARAGOZA, E.; RIQUELME-NAVARRETE, M.J.; SÁNCHEZ-ZAPATA, E.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J.A. Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International**, v.43, p.931-942, 2010.

GOÑI, I.; GARCIA-DIZ, L.; MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v.56, n.4, p.445-449, 1996.

GRAY, J. Fibra Alimentar: Definição e análise, fisiologia e saúde *in* **ILSI Europe concise monograph series**. ILSI Europe, 2006, 52p.

HERNÁNDEZ-NAVA, R.G.; BERRIOS, J.; DE PAN, J.; OSORIO-DÍAZ, P.; BELLO-PÉREZ, L.A. Development and Characterization of Spaghetti with High Resistant Starch Content Supplemented with Banana Starch. **Food Science and Technology International**, v.15, p.73-78, 2009.

HOSENEY, C.A. Principles of Cereal Technology, second ed. **American Association of Cereal Chemists Inc.**, St Paul, Minnesota. 1998.

HUANG, D. P.; ROONEY, L. W. Starches for snack foods. *In*: LUSAS, E. W.; ROONEY, R. W. **Snack foods processing**. CRC Press, Boca Raton, p.115-136, 2001.

ICC - INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Rapid Pasting Method using the Newport Rapid Visco Analyser**. ICC Standard No. 162, Int. Association of Cereal Science and Technology. 1995.

JIANG, H. **Resistant-starch formation in high-amylose maize starch**. 2010. 197 f. Ames-Iowa. Dissertation (Master in Food Science and Technology) - Iowa State University, Ames, 2010.

LEI, F.; JI-CHUN, T.; CAI-LING, S.; CHUN, L. RVA and Farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour. **Agricultural Sciences in China**, v.7, n.7, p.812-822, 2008.

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

NELSON, A. L. **High-fiber ingredients**. AACC International.: St Paul, MN. 2001.

NUGENT, A. P. **Health properties of resistant starch**. British Nutrition Foundation, London, UK. 30, 27–54. 2005.

OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L.A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**, v.113, p.121-126, 2009.

PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes e parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 72p. 1999.

POSNER, E.S.; HIBBS, A.N. **Wheat flour milling**. 1.ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1997. 341p.

SAJILATA, M. G.; SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P.R. Resistant Starch – A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.5, p.1-17. 2006.

SALGADO, S.M.; FARO, Z.P.; GUERRA, N.B.; LIVERA, A.V.S. Aspectos físico-químicos e fisiológicos do amido resistente. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.23, n.1, p.109-122, 2005.

SOZER, N.; DALGIÇ, A.C; KAYA, A. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. **Journal of Food Engineering**, v.81, p.476-484, 2007.

SOZER, N.; KAYA, A.; DALGIÇ, A.C. The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. **Journal of Texture Studies**, v.39, p.1-16, 2008.

STATISTICA for Windows – Release 7.0, StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA, 2004.

TACO – **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos** – Versão 2. (2006). Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_versao2.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2011.

TAKÁCS, K.; GELENCSÉR, E.; KOVÁCS, E.T. Effect of transglutaminase on the quality of wheat-based pasta products. **European Food Research Technology**, v.226, p.603-611, 2008.

TBCAUSP - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos 5.0**. (2011). Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/tabela/>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

THARANATHAN, M.; THARANATHAN R.N. Resistant starch in wheat-based products: Isolation and Characterization. **Journal of Cereal Science**, v.34, p.73-84, 2001.

THOMPSON, D. B. Strategies for the manufacture of resistant starch. **Food Science & Technology**, v. 11, p. 245-253, 2000.

USDA – **National Nutrient Database for Standard Reference**. Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

VAN-HUNG, P.; MORITA, N. Dough properties and bread quality of flours supplemented with cross-linked cornstarches. **Food Research International**, v.37, n.5, p.461-467, 2004.

VERNAZA, M.G.; BIASUTTI, E.; SCHMIELE, M.; JAEKEL, L.Z.; BANNWART, A.; CHANG, Y.K. Effect of supplementation of wheat flour with resistant starch and monoglycerides in pasta dried at high temperatures. **International Journal of Food Science & Technology**, v.47, n.6, p.1302–1312, 2012.

VERNAZA, M.G.L. **Macarrão instantâneo funcional obtido pelos processos de fritura convencional e a vácuo**. 2011. 189 f. Campinas-SP. Tese (Doutora em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2011.

WALTER, M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T. Amido resistente: características físicoquímicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência rural**, v. 35, n. 4, p. 974-980, 2005.

WANG, F.; HUANG, W.; KIM, Y.; LIU, R.; TILLEY, M. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin. **Journal of Cereal Science**, v.54, p.53-59, 2011.

WU, J.; CORKE, H. Quality of dried white salted *noodles* affected by microbial transglutaminase. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 2587-2594, 2005.

ARTIGO 4. Desempenho da enzima transglutaminase nas características de cozimento, estruturais e sensoriais de massas alimentícias contendo amido resistente

Leandra Zafalon JAEKEL^{1*}; Yoon Kil CHANG¹

¹Departamento de Tecnologia de Alimentos - Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - C.P. 6121 - CEP 13083-862 - Campinas-SP;

E-mails: leandrazafalon@gmail.com; yokic@fea.unicamp.br

*Autor para correspondência.

Resumo

Com o crescente interesse dos consumidores por produtos benéficos à saúde, o amido resistente, que atua como fibra, torna-se excelente alternativa por sua cor e aroma neutros e textura. Este estudo objetivou avaliar a influência da transglutaminase (TG) nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias adicionadas de amido resistente (AR). As massas desenvolvidas foram: MAR (86 % de farinha de trigo - FT e 14 % de AR), MARTG (86 % de farinha de trigo - FT, 14 % de AR e 1 % de TG) e MFT (100 % de FT, amostra controle). Os parâmetros avaliados foram cor, teor de amido resistente, índice glicêmico *in vitro*, propriedades de cozimento e de textura, solubilidade proteica, eletroforese em gel de poliacrilamida, calorimetria diferencial de varredura (DSC), espectroscopia de infravermelho (FIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e avaliação sensorial, através de teste de comparação múltipla, aceitação e intenção de compra. O efeito da TG foi significativo ($p < 0,05$) nas características de textura (firmeza e elasticidade), onde MARTG apresentou maiores valores. A adição de 14 % de AR foi suficiente para caracterizar os produtos como fonte de fibras, já que são necessários no mínimo 3 g de fibra alimentar total por 100 g de produto pronto para o consumo. Quanto à solubilidade proteica, o efeito da TG foi observado com o uso de todos solventes juntos (PB – tampão fosfato 27,5mM pH 7,5; SDS – dodecil sulfato de sódio 4 %; β -ME – β -mercaptoetanol 5 %), onde a solubilidade foi menor para a massa alimentícia contendo AR e adicionada de TG. Em relação à eletroforese e FTIR, as três formulações apresentaram bandas semelhantes. Através de MEV, observou-se que MARTG parece apresentar um aumento na espessura da camada de proteínas que cobrem os grânulos de amido. Na avaliação sensorial, MAR e MARTG não apresentaram diferença estatística para os parâmetros analisados através do teste de comparação múltipla (aparência, textura e sabor), teste de aceitação e intenção de compra, apresentando médias próximas a 5, 7 e 4, que equivalem a “igual ao padrão”, “gostei moderadamente” e “provavelmente compraria”, respectivamente. A adição de 14 % de AR, além de caracterizar os

produtos como fonte de fibras e com baixo índice glicêmico, possibilita a obtenção de produtos de qualidade tecnológica semelhante aos existentes no mercado.

Palavras-chave: amido resistente, transglutaminase, avaliação sensorial, solubilidade proteica, massas alimentícias.

Abstract

With the growing interest of consumers for health benefits, resistant starch, which acts like a fiber becomes an excellent alternative due to its neutral color and aroma and texture. This study aimed to evaluate the influence of transglutaminase (TG) enzyme on technological, structural and sensory characteristics of pasta enriched with resistant starch (RS). The following formulations were developed: MAR (86% wheat flour WF + 14% RS); MARTG (86% wheat flour + WF 14% RS + 1% TG) and MFT (100% WF, control sample). The parameters evaluated were color, resistant starch, *in vitro* glycemic index, cooking and texture properties, protein solubility, polyacrylamide gel electrophoresis, differential scanning calorimetry (DSC), infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM) and sensory evaluation by multiple comparison test, overall acceptance and purchase intention. The effect of TG was significant ($p < 0.05$) on texture (firmness and elasticity) and MARTG showed higher values. The use of 14% RS was suitable to characterize the products as a source of fibers, since are necessary at least 3 g of total dietary fiber per 100 g product ready for consumption. Regarding the protein solubility, the effect of TG was observed when the mixture of all solvents (PB - 27.5 mM phosphate buffer pH 7.5, SDS - sodium dodecyl sulfate 4% β -ME - 5% β -mercaptoethanol) was used and the solubility was lower for pasta containing both RS and TG. In relation to the electrophoresis and FTIR, all the formulations showed similar bands. Scanning electron microscopy showed that MARTG presented an increased protein layer thickness on the starch granules. In the sensory evaluation, MAR and MARTG showed no statistical difference for the parameters analyzed by the multiple comparison test (appearance, texture and flavor), overall acceptance and purchase intention, whose scores were close to 5, 7 and 4, which correspond to "equal to standard", "like moderately" and "would buy" respectively. Besides characterizing the products as a source of fiber and low glycemic index, adding 14% of RS allows for obtaining competitive high-quality products.

Key-words: resistant starch, transglutaminase, sensory evaluation, protein solubility, pasta.

1 INTRODUÇÃO

As características especiais das massas alimentícias, como facilidade de preparo e diversidade de aplicação, colocam-nas em uma posição importante na dieta diária da sociedade moderna (BUSTOS; PÉREZ; LEÓN, 2011). Além disso,

é um produto de baixo índice glicêmico (TUDORICĂ; KURI; BRESNNAN, 2002), baixo teor de sódio e gordura, livre de colesterol e fonte de carboidratos complexos (CHILLO et al., 2008).

Os consumidores estão cada vez mais conscientes da relação entre dieta e saúde, ampliando a procura por alimentos funcionais, o que impulsiona os órgãos de pesquisa e indústrias a desenvolverem novos produtos. No mercado mundial já existem massas alimentícias contendo farelo de trigo, contudo, alguns consumidores ainda não estão incluindo estes produtos em sua dieta por motivos sensoriais, tais como sabor, textura e aparência, entre outros (SOZER et al., 2008). Neste sentido, o amido resistente (AR) pode ser incluído nos produtos, por apresentar coloração branca, sabor suave, partículas pequenas, menor alteração de textura, resultando em produtos mais aceitos pelos consumidores e de valor calórico reduzido (SOZER; DALGIÇ; KAYA, 2007; BAIXAULI et al., 2008).

O amido resistente é definido como a fração de amido que resiste à digestão enzimática no intestino delgado e, por tratar-se de um carboidrato complexo, está incluído no conceito de fibra alimentar. Assim, apresenta efeitos benéficos semelhantes às fibras, atuando no controle do metabolismo lipídico, retardando a taxa de digestão, reduzindo a concentração de glicose e insulina no sangue no período pós-prandial, atuando no controle metabólico da diabetes tipo II (CHAMP; FAISANT, 1996; GOÑI et. al., 1996; THOMPSON, 2000; LOBO; SILVA, 2003; SALGADO et al., 2005; ALSAFFAR, 2011, BUSTOS; PÉREZ; LEÓN, 2011).

O amido resistente, por não ser digerido no intestino delgado, pode servir de substrato para o crescimento de micro-organismos probióticos (principalmente bifidobactérias), atuando como agente prebiótico (HARALAMPU, 2000). Sua fermentação resulta na produção de ácidos graxos de cadeia curta, como acetato, propionato e butirato; gás carbônico e hidrogênio e, em alguns indivíduos, metano; e diminuição do pH do cólon (CHAMP; FAISANT, 1996; YUE; WARING, 1998). A maioria destes compostos age na prevenção de doenças inflamatórias do intestino, além de auxiliar na manutenção da integridade do epitélio intestinal. Adicionalmente, o amido resistente contribui para o aumento do volume fecal, modificação da microflora do cólon, aumento da excreção fecal de nitrogênio e,

possivelmente, redução do risco de câncer de cólon (YUE; WARING, 1998; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005).

Existem 5 tipos de amido resistente, sua classificação depende da estrutura física, condições de processamento (gelatinização, retrogradação e modificações químicas) e susceptibilidade à hidrólise enzimática (THOMPSON, 2000; LOBO; SILVA, 2003; SALGADO et al., 2005;JIANG, 2010). O amido resistente de milho com alto teor de amilose (tipo 2) merece destaque, pois mantém sua estrutura, mesmo durante o processamento e preparação de muitos alimentos (NUGENT, 2005).

O uso de amido resistente vem aumentando devido aos benefícios à saúde e menores alterações nas características tecnológicas dos produtos comparado às fibras convencionais. Entretanto, seu uso em massas alimentícias é limitado por enfraquecer a rede de glúten, afetando diretamente as características de cozimento, como perda de sólidos, firmeza, entre outros atributos de qualidade que têm relação direta com a aceitabilidade do produto (HERNÁNDEZ-NAVA et al., 2009). Uma opção para amenizar esses problemas é o uso da enzima transglutaminase (E.C.2.3.2.13, proteína glutamina γ -glutamil transferase), a qual pode agir de três diferentes formas: através da modificação das proteínas devido à incorporação de grupamento amina, formação de ligação cruzada ou desamidação (KURAISHI et al., 2001, YOKOYAMA; NIO; KIKUCHI, 2004).

Dentre estas três maneiras de atuação, a mais comum é por reações de acil-transferência introduzindo ligações cruzadas covalentes intra e intermoleculares entre cadeias de proteínas, peptídeos e várias aminas primárias, especialmente através de ligações covalentes entre resíduos de glutamina e lisina. Ocorre formação de uma rede proteica estável, com formação de compostos de alto peso molecular (GERRARD et al., 2001; KURAISHI et al., 2001; YOKOYAMA; NIO; KIKUCHI, 2004; BASMAN et al., 2006; AALAMI; LEELAVATHI, 2008; BELLIDO; HATCHER, 2011; WANG et al., 2011).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi determinar o desempenho da enzima transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias, tipo espaguete, contendo amido resistente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As matérias-primas utilizadas na produção das massas alimentícias foram: farinha de trigo (FT) de *Triticum aestivum*, fornecida pela empresa Pastifício Selmi (Sumaré, Brasil); amido resistente (AR) (*Hi Maize 260* - amido de milho com alto teor de amilose), fornecido pela *National Starch* (Trombudo Central, Brasil); e transglutaminase (TG), em pó, oriunda do *Streptomyces mobaraense*, com atividade enzimática de 20-34 U.g⁻¹, fornecida pela *Ajinomoto* do Brasil Indústria e Comércio de Alimentos LTDA. (São Paulo, Brasil).

2.1 Formulações e processamento das massas alimentícias

As massas alimentícias foram processadas na indústria Pastifício Selmi (Sumaré/Brasil). Foram desenvolvidas três formulações: MAR - 86 % de FT e 14 % de AR, sem adição de TG; MARTG - 86 % de FT, 14 % de AR e 1 % de TG e MFT - 100 % de FT (formulação controle). As matérias-primas (FT, AR e TG) foram previamente misturadas em agitador homogeneizador em “V” da marca *Tecnal* (Piracicaba, Brasil) por 5 minutos e processadas em extrusor a vácuo *Food Processing Systems*, modelo 250-LAB 2.V (Ridgewood, Nova York). A água (32 %) aquecida a 54 °C foi adicionada à pré-mistura e fez-se nova mistura por 20 min, seguida de extrusão, obtendo-se uma massa alimentícia do tipo espaguete com 1,70 mm de espessura (matriz n° 49149) por o corte foi manual. A secagem foi realizada em secador industrial da marca Mega Brasil, Mauá (Brasil), com temperaturas entre 45 e 85 °C, umidade relativa entre 45 e 85 % e durante aproximadamente 12 h, até o produto atingir uma umidade abaixo de 12%. As massas alimentícias, tipo espaguete, foram armazenadas em embalagens de polipropileno.

2.2 Avaliação das massas alimentícias

2.2.1 Cor

A cor das massas alimentícias foi avaliada, em triplicata, através de um colorímetro Mini *Scan*TM XE, modelo n° 45/0-L (Reston/USA), previamente calibrado no modo transmitância total para leitura dos parâmetros L*, a* e b*,

seguindo as orientações do fabricante. As leituras foram feitas com iluminante D65, ângulo de visão de 10° e calibração *reflectance specular included* (RSIN).

2.2.2 Características de cozimento

O teste de cozimento foi realizado, em triplicata, de acordo com o método nº 66-50.01 da AACC (AACC, 2010) e os parâmetros avaliados foram tempo ótimo de cozimento, perda de sólidos solúveis na água de cozimento, aumento de peso do produto cozido e aumento de volume do produto cozido.

2.2.3 Características de textura

A textura das massas alimentícias cozidas, de acordo com o tempo ótimo de cozimento (item 2.2.2) foi avaliada, segundo método nº 66-50.01 da AACC (AACC, 2010), utilizando-se o aparelho Texturômetro TA-XT2i, da marca *Stable Micro Systems* (Haslemere, Inglaterra). A firmeza foi analisada usando força em compressão (N), velocidade pré-teste (2 mm/s), velocidade de teste (0,17 mm/s), velocidade pós-teste (10 mm/s), distância (4,5 mm) e o *probe* A/LKB-F. Na elasticidade as condições operacionais usadas foram força em tensão (N), velocidade pré-teste (1 mm/s), velocidade de teste (3 mm/s), velocidade pós-teste (10 mm/s) e o *probe* A/SPR. Já, a adesividade foi determinada utilizando o *probe* HDP/PFS, velocidade pré-teste (1 mm/s), velocidade de teste (0,5 mm/s), velocidade pós-teste (10 mm/s), distância (100 mm), força (9,81 N) e tempo (2 segundos). Os testes foram realizados com 15 repetições por amostra.

2.2.4 Teor de amido resistente

O teor de amido resistente das massas alimentícias cruas foi determinado, em quadruplicata, por método enzimático, de acordo com Goñi et al. (1996). Para a preparação das amostras, as massas foram moídas até granulometria inferior a 250 µm e secas em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 °C/24 h).

2.2.5 Índice glicêmico *in vitro*

O índice glicêmico *in vitro* foi determinado usando método de Goñi, García-Alonso e Saura-Calixto (1997) com algumas modificações conforme Vernaza (2011). O padrão utilizado foi um pão branco. As amostras foram cozidas (conforme 2.2.2), moídas, passadas por peneira (abertura de 250 μm) e secas em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 $^{\circ}\text{C}/24$ h).

A taxa de liberação da glicose pela hidrólise do amido foi expressa como porcentagem de glicose em cada amostra (mg/100 mg de produto) para os tempos de 0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 minutos. A área abaixo da curva de hidrólise do amido foi obtida através do software *Origin* 6.0. O índice de hidrólise foi calculado através da razão entre a área sob a curva da amostra e a área sob a curva do pão branco.

O índice glicêmico foi calculado através da seguinte equação:

Equação 1: $IG = 39,71 + (0,549 \times IH)$

Onde:

IG = índice glicêmico;

IH = índice de hidrólise.

2.2.6 Solubilidade de proteínas

A solubilidade das proteínas foi determinada segundo o método usado por Aalami e Leelavathi (2008), com modificações. As amostras de massas alimentícias cruas (300 mg, bs) foram trituradas até granulometria inferior a 250 μm , secas em estufa a vácuo (0,17 atm e 60 $^{\circ}\text{C}/24$ h) e adicionadas de 1,5 mL de solução solvente, sendo: (i) tampão fosfato 27,5mM pH 7,5; (ii) tampão fosfato 27,5mM pH 7,5 adicionado de 4 % (m/v) de dodecil sulfato de sódio; (iii) tampão fosfato 27,5mM pH 7,5 adicionado de 5 % de (v/v) de β -mercaptoetanol ; e (iv) tampão fosfato 27,5mM pH 7,5 adicionado de 4 % (m/v) de dodecil sulfato de sódio e 5 % de (v/v) de β -mercaptoetanol. O sistema amostra-solvente foi agitado em vórtex a cada 5 minutos durante 30 minutos. A suspensão foi centrifugada a 8000 x g em centrífuga refrigerada a 20 $^{\circ}\text{C}$ por 10 minutos. O sobrenadante foi

transferido para tubo de proteína micro *Kjeldahl* e o conteúdo de proteína determinado de acordo com o método 46-13.01 da AACC (AACC, 2010).

2.2.7 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)

A determinação do perfil eletroforético das proteínas foi realizada de acordo com Laemmli (1970), com algumas modificações. As massas alimentícias cruas foram trituradas e secas conforme o item 2.2.6. A determinação foi em Sistema *Mini-Protean II*, com fonte *Bio-Rad* (Oregon, Estados Unidos). As amostras foram pesadas de acordo com o teor proteico para conter 0,4 % de proteína e adicionadas de 1 mL de tampão contendo 42,5 % de água destilada, 12,5 % de Tris-HCl 0,5 M (pH 6,8), 20 % de glicerol, 20 % de SDS, 5 % de β -mercaptoetanol e 0,1 % de bromofenol e foram aquecidas a 95 °C/5 min e, após resfriamento, alíquotas de 5 μ L de cada amostra foram aplicadas no gel. Foi usado um gel de separação a 12 % e o gel de empilhamento a 4 %. Após a corrida, os géis foram mantidos em solução do corante *Brilliant Blue-G* a 0,1 % em ácido fosfórico por 24 h e, posteriormente, descorados em água destilada.

2.2.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

As propriedades térmicas foram determinadas, em triplicata, utilizando-se calorímetro diferencial de varredura (DSC SHIMADZU-TA60) (Kyoto, Japão). Foram pesadas 3 mg da amostra crua (preparada conforme 2.2.6) em cápsulas de alumínio e adicionadas de 7 μ L de água deionizada. As cápsulas foram seladas hermeticamente e após a pesagem foram mantidas em temperatura ambiente por 1 h antes da análise. Foi utilizada uma cápsula de alumínio vazia como referência. Empregou-se uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, varrendo uma faixa de temperatura de 30 °C a 95 °C. O sistema foi calibrado com índio (ΔH de fusão de 28,71 J/g e ponto de fusão de 156,6 °C) com elevada pureza (99,9 %) e água deionizada (ΔH de fusão de 335 J/g e ponto de fusão de 0,01 °C). Os valores de temperatura de início (T_o), temperatura de pico (T_p) e temperatura final de gelatinização (T_f), bem como os valores de variação de entalpia (ΔH) foram

obtidos a partir dos termogramas das amostras analisadas utilizando o *Universal Analyzer TA Software*.

2.2.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Foram verificadas as microestruturas das seções longitudinal e transversal das massas alimentícias. A amostra foi fixada em *stub* (porta amostra) com fita de carbono condutor dupla face, o recobrimento metálico das amostras com Au foi feito pelo processo *sputtering* em Sputter Coater POLARON, modelo SC7620, VG Microtech (Uckfield, Inglaterra), e as microestruturas foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura, modelo Leo 440i, LEO *Electron Microscopy/Oxford* (Cambridge, Inglaterra) utilizando-se tensão de aceleração de 15 kV e corrente de feixe igual a 100 pA.

2.2.10 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As amostras foram analisadas por espectrometria de infravermelho, de acordo com Weber et al. (2009). As massas alimentícias foram moídas e secas como em 2.2.6. No preparo das pastilhas foram utilizados 0,200 g de KBr e 0,002 g de amostra. Os espectros foram obtidos entre 4000 e 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 40 *scans*, em Espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FTLA2000-100, Shimadzu, Kioto, Japan).

2.2.11 Características sensoriais

A avaliação sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos (FEA – UNICAMP) e contou 60 consumidores habituais de massas alimentícias, de ambos os sexos e diferentes faixas etárias (18 a 50 anos). Antes de realizar a análise, os provadores assinaram o Termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO 1), indicando a sua concordância em participar do teste conforme protocolo do Comitê de Ética em Pesquisa – UNICAMP, a aprovação deste projeto por este órgão encontra-se nos ANEXOS 2, 3 e 4.

Os produtos foram analisados, conforme Stone e Sidel (1993), através do teste de comparação múltipla, avaliando aparência, textura e sabor, utilizando escala hedônica de 9 pontos (9 = extremamente melhor, 8 = muito melhor, 7 = moderadamente melhor, 6 = ligeiramente melhor, 5 = igual ao padrão, 4 = ligeiramente inferior, 3 = moderadamente inferior, 2 = muito inferior, 1 = extremamente inferior), do teste de aceitação, no qual os provadores avaliaram o quanto gostaram ou desgostaram do produto através de escala hedônica de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 8 = gostei muito, 7 = gostei moderadamente, 6 = gostei pouco, 5 = não gostei nem desgostei, 4 = desgostei pouco, 3 = desgostei moderadamente, 2 = desgostei muito e 1 = desgostei extremamente) e do teste de intenção de compra com escala de 5 pontos (1 = certamente não compraria a 5 = certamente compraria). A partir do teste de aceitação foi calculado o índice de aceitabilidade dos produtos, de acordo com Gularte (2009). A ficha utilizada na avaliação sensorial encontra-se no ANEXO 5.

Os testes foram realizados com uma porção de 25 g de cada amostra, cozida conforme o tempo ótimo de cozimento (item 2.2.2), oferecida em prato descartável, identificada com códigos de três números aleatórios, segundo delineamento em blocos completos casualizados e em cabines individuais.

2.4 Análise estatística

Os resultados foram analisados através do programa estatístico *Statistica* 7.0 (STATISTICA, 2004) para análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey para comparação de médias, ao nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação das massas alimentícias

3.1.1 Cor

Na Tabela 1, encontram-se os valores referentes à cor dos espaguetes adicionados de AR com e sem TG e da amostra controle. As amostras com AR, adicionadas ou não de enzima não diferiram ($p < 0,05$) entre si em relação a L^* . No entanto, são significativamente superiores à amostra controle; isso se deve ao fato

de que o AR *Hi Maize* tem maior valor de L* que a farinha de trigo. Em relação, ao parâmetro a*, todas as amostras apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), e, para b*, os espaguetes com AR adicionados ou não de TG não diferiram entre si, e ambos diferiram do controle. Considerando-se o ΔE , as amostras com AR e adicionadas ou não de TG diferiram entre si.

Tabela 2. Valores dos parâmetros de cor (L*, a* e b*) e variação de cor (ΔE^*) das massas alimentícias

| Amostra | L* | a* | b* | ΔE |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| MFT | 57,20±0,46 ^b | 10,13±0,33 ^a | 42,86±0,77 ^a | - |
| MAR | 60,01±0,46 ^a | 8,70±0,33 ^b | 38,51±0,77 ^b | 4,62±0,16 ^b |
| MARTG | 60,30±0,11 ^a | 8,15±0,07 ^c | 38,92±0,34 ^b | 5,42±0,26 ^a |

Média de três repetições \pm desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); MFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); MAR: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição de enzima; MARTG: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente com adição de enzima.

Resultados contrários foram obtidos para L* em estudos relacionados à adição de amido resistente e/ou transglutaminase. Choy, Hughes e Small (2010) no desenvolvimento de *noodles* adicionados de TG (0,5 e 1,0 %), obtiveram menor valor neste parâmetro com a adição de 1,0 % da enzima. Aalami e Leelavathi (2008), também verificaram redução de L* em espaguete com teor máximo de TG (2 %). Já para os parâmetros a* e b*, estes autores indicaram comportamento semelhante ao presente estudo. Hernández-Nava et al. (2009) em estudo com espaguete com alto teor de AR suplementado com amido de banana também mostrou diminuição de L* com o incremento de amido de banana. Amido de banana, em geral, apresenta coloração amarelada, dependendo do processamento de secagem e/ou cultivar.

3.1.2 Características de cozimento

O tempo ótimo de cozimento das massas alimentícias sem (MAR) e com TG (MARTG) não diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre si e a amostra com enzima não diferiu da amostra controle (Tabela 2). A massa alimentícia com AR (MAR) apresentou tempo ótimo de cozimento significativamente menor que a amostra controle, o que pode ser explicado pelo fato de que produtos adicionados

AR podem apresentar a rede de glúten mais fraca, efeito de sua diluição, assim, a absorção de água é facilitada causando um tempo menor de cozimento (CHILLO et al., 2008; HERNÁNDEZ-NAVA et al., 2009; OVANDO-MARTINEZ et al., 2009). Contudo, foi possível perceber o efeito da enzima, pois a amostra MARTG foi semelhante ao controle, o que indica que a TG formou ligações cruzadas entre grupamentos de lisina e ácido glutâmico fortalecendo a rede de glúten. Com isso, diminui a exposição das ligações hidrofílicas pela redução de aminoácidos hidrofílicos diminuindo a absorção de água durante o cozimento (WU; CORKE, 2005).

Tabela 2. Tempo ótimo de cozimento (TOC), perda de sólidos (PS), aumento de peso (AP) e aumento de volume (AV) das massas alimentícias

| Amostra | TOC (min) | PS (%) | AP | AV |
|---------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| MFT | 8,75±0,04 ^a | 3,65±0,14 ^a | 123,37±1,73 ^a | 295,02±0,28 ^a |
| MAR | 8,36±0,05 ^b | 3,94±0,17 ^a | 121,41±0,27 ^a | 294,17±0,22 ^a |
| MARTG | 8,40±0,06 ^{ab} | 3,85±0,17 ^a | 120,45±4,89 ^a | 283,09±0,03 ^a |

Média de três repetições ± desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); MFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); MAR: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição de enzima; MARTG: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente com adição de enzima.

A perda de sólidos dos espaguete adicionados ou não de enzima não apresentou diferença ($p < 0,05$) entre si e nem em relação à amostra controle. Wu e Corke (2005) também não verificaram influência significativa em *noodles* adicionados de TG. Vernaza et al. (2012) obtiveram valores superiores, variando de 4,90 a 7,80 % em estudo com massas alimentícias de farinha de trigo, adicionadas de monoglicérides (0 a 0,7 %) e de AR2 (0 a 25 %). Takács, Gelncsér e Kovács (2008) estudando o efeito da transglutaminase na qualidade de massas alimentícias de trigo mostraram redução deste parâmetro comparando com o produto sem enzima. Entretanto, em estudos com adição de amido de banana foram relatados valores superiores para perda de sólidos comparados a amostra padrão (HERNÁNDEZ-NAVA et al., 2009; OVANDO-MARTINEZ et al., 2009).

Segundo Dick e Youngs (1988), em espaguete produzidos com 100 % de semolina, uma perda de sólidos de até 8 % é considerada aceitável para um

produto de boa qualidade. Com base nisso, os produtos elaborados neste estudo podem ser considerados de boa qualidade.

O aumento de peso não diferiu significativamente ($p < 0,05$) para as três amostras. O mesmo comportamento foi verificado em espaguete suplementado com amido de banana (HERNÁNDEZ-NAVA et al., 2009). Sozer et al. (2007) relataram aumento de peso de 153 % para espaguete enriquecido com 10 % de amido resistente tipo 3 com 8 minutos de cozimento e atribuíram este aumento ao alto conteúdo de amilose, sabe-se que o amido com alto teor de amilose tem maior capacidade de ligação com a água do que o amido convencional. Em estudo com *noodles* adicionados de transglutaminase, o peso reduziu com o incremento de TG, o que está associado com a estrutura da rede de glúten com maior número de ligações após a adição da enzima. Assim, menor quantidade de água será absorvida, diminuindo o rendimento de cozimento (WU; CORKE, 2005). Aalami e Leelavathi (2008) também observaram redução do peso como consequência da adição de TG em espaguetes produzidos com duas cultivares de trigo.

As massas alimentícias sem e com TG e a controle não apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) em relação ao aumento de volume, o que sugere que este parâmetro não foi influenciado pelo teor de AR e TG. O mesmo comportamento foi verificado por Vernaza et al. (2012), onde o aumento de volume variou de 1,59 a 2,09 em massas alimentícias adicionadas de AR2 e monoglicérides.

3.1.3 Características de textura

A firmeza é um parâmetro importante, considerado atributo de qualidade de massas alimentícias. A formulação com TG apresentou firmeza maior ($p < 0,05$) que as demais (Tabela 3). Os resultados indicam provável ação da enzima com formação de ligações cruzadas e consequente aumento de compostos de maior peso molecular que pode ter dificultado a gelatinização do amido, tornando o espaguete mais firme (TAKÁCS; GELENCSEK; KOVÁCS, 2008). O mesmo ocorreu nos estudos de Wu e Corke (2005), em estudo avaliando a adição de

transglutaminase em *noodles* feitos com dois tipos de farinha de trigo comercial, e de Aalami e Leelavathi (2008) para a variedade de trigo PDW 274.

Tabela 3. Características de textura das proteínas das massas alimentícias

| Amostra | Firmeza (N) | Adesividade (N) | Elasticidade (N) |
|--------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Controle MFT | 3,95±0,15 ^b | 1,85±0,41 ^a | 0,22±0,02 ^a |
| MAR | 4,38±0,14 ^b | 1,09±0,04 ^b | 0,18±0,001 ^c |
| MARTG | 4,87±0,18 ^a | 0,92±0,10 ^b | 0,20±0,002 ^b |

Média de 15 repetições ± desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); MFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); MAR: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição de enzima; MARTG: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente com adição de enzima.

As amostras MAR e MARTG não diferiram entre si ($p < 0,05$) e apresentaram menores valores de adesividade que a amostra controle. Sozer, Dalgiç e Kaya (2007) estudando as propriedades de textura de espaguete enriquecido com amido resistente, também verificaram redução neste parâmetro em relação à amostra controle.

Em relação à elasticidade, os valores obtidos nas massas alimentícias com enzima foram significativamente maiores ($p < 0,05$) que a formulação sem TG (MAR). Esses resultados, mais uma vez, confirmam a possível formação de ligações cruzadas entre as proteínas formadoras do glúten. No entanto, a amostra MARTG apresentou valor menor que a amostra controle, isto sugere que a maior quantidade de amido desta amostra comparada a controle, pela adição de AR, enfraqueceu a matriz formada pelo glúten (SOZER et al., 2008).

3.1.4 Teor de amido resistente

O teor de AR das massas alimentícias (MAR, MARTG e controle MFT) foi de, 8,04±0,39, 8,49±0,51 e 1,77±0,15, respectivamente. Considerando o aumento de peso no cozimento (Tabela 2), o teor de AR nos produtos cozidos foi de 3,63, 3,85 e 0,79, respectivos a MAR, MARTG e MFT. Sendo assim, sabendo-se que o AR é considerado uma fibra, o uso de 14 % de AR nas formulações de massas alimentícias atende o valor mínimo estipulado para um produto ser considerado fonte de fibra (3 g de fibra alimentar total por 100 g de produto pronto para o

consumo) (BRASIL, 2011). Além disso, o amido resistente é considerado um alimento prebiótico, pois serve de substrato para alguns micro-organismos como as bifidobactérias, que estão ligadas ao equilíbrio microbiano intestinal. E ainda, ele promove o aumento de volume das fezes, que ao passarem pelo intestino delgado, arrastam sais biliares e triglicerídeos, dificultando a absorção das gorduras, do colesterol e da glicose (LOBO; SILVA, 2003; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005; ALSAFFAR, 2011).

Vernaza et al. (2012) estudando a influência da adição de AR (12 %) e monoglicerídeos (0,30 %) nas propriedades tecnológicas de massas alimentícias de farinha de trigo e de semolina, encontraram teores de AR de 4,76 e 4,68 %, respectivamente, no produto cru. Hernández-Nava et al. (2009) encontraram valores de 3,06, 4,68, 8,26 e 10,33 % de AR, respectivos a espaguete cozidos adicionados de 5, 10, 15 e 20 % de amido resistente de banana verde.

3.1.5 Índice glicêmico *in vitro*

O índice glicêmico é um parâmetro utilizado para classificar os alimentos contendo carboidratos de acordo com a resposta glicêmica que os mesmos promovem, em relação à resposta observada após consumo de um alimento de referência (pão branco ou glicose) (GUTTIERRES; ALFENAS, 2007). O comportamento da hidrólise do amido durante o tempo de digestão está apresentado na Figura 1. Na Tabela 4, pode-se visualizar os valores obtidos para o índice de hidrólise do amido (IH) e do índice glicêmico (IG) das massas alimentícias e do pão branco usado como referência. Verificou-se que os maiores valores de IH e IG foram obtidos para a massa alimentícia controle de farinha de trigo.

A adição de 14% de amido resistente nas formulações das massas alimentícias MAR e MARTG resultaram em redução estatisticamente significativa ($p < 0,05$) do IH e do IG, entretanto, a adição de enzima TG não alterou estes parâmetros. Todas as massas alimentícias elaboradas neste estudo apresentaram baixo índice glicêmico, abaixo de 75 %, como classificação proposta por Menezes

e Lajolo (2006). Carreira, Lajolo e Menezes (2004) encontraram valores menores de IG para massa alimentícia (IG=64 %) em relação a este estudo (73 %).

Aparecido-Sanguilán et al. (2007) estudaram o efeito da adição de amido resistente preparado de amido de banana autoclavada na formulação de *cookies* à base de farinha de trigo (proporção farinha:amido resistente de 15:85). Estes autores observaram que a adição de amido resistente reduziu significativamente o IG dos *cookies* (60,53 %) quando comparados aos *cookies* controles (77,62 %).

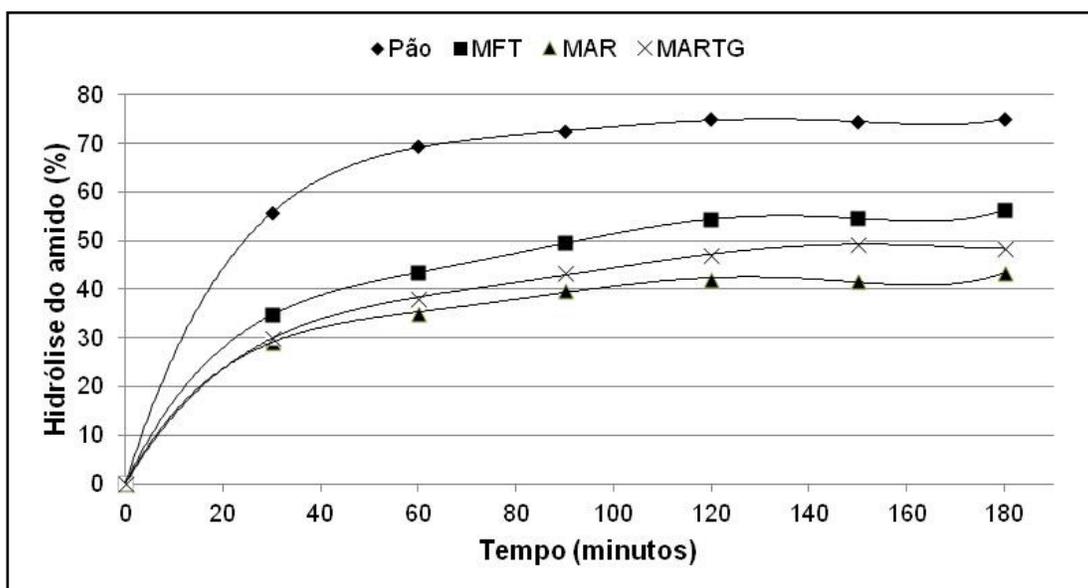


Figura 2. Hidrólise de amido vs tempo de incubação para análise de índice glicêmico.

MFT – amostra controle de farinha de trigo; MAR: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição de enzima; MARTG: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente com adição de enzima.

Tabela 4. Índice de hidrólise e índice glicêmico das massas alimentícias e do pão branco, expressos em porcentagem

| Amostra | Pão branco | MFT | MAR | MARTG |
|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Índice de hidrólise (%) | 100,00 | 60,12±3,54 ^a | 49,88±2,05 ^b | 53,67±1,87 ^b |
| Índice glicêmico (%) | 94,61 | 72,72±4,12 ^a | 67,10±2,78 ^b | 69,18±1,43 ^b |

Média de três repetições ± desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si (p<0,05); MFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); MAR: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição de enzima; MARTG: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente com adição de enzima.

Estudos clínicos de Pawlak et al. (2001) e Bouché et al. (2002) sugerem que o IG apresenta um papel importante na regulação do peso corporal. Porém,

tais estudos, em geral, apresentam falhas metodológicas, as quais não permitem que se chegue a uma conclusão definitiva a respeito do real papel do IG neste sentido.

Jenkins et al. (2002) constataram que as dietas de alto IG apresentam menor poder de saciedade, resultando em excessiva ingestão alimentar, favorecendo o aumento do peso corporal. Além disso, o consumo de tais dietas pode alterar o perfil lipídico e a secreção insulínica, favorecendo o aparecimento de doenças cardiovasculares e de diabetes *mellitus*.

Por outro lado, de acordo com relatos de alguns pesquisadores, a ingestão de alimentos de baixo IG tende a aumentar o teor de massa magra e a diminuir, significativamente, o teor de massa gordurosa corporal (BOUCHÉ et al., 2002).

3.1.6 Solubilidade de proteínas

A solubilidade de proteínas das massas alimentícias em diferentes sistemas de solventes está apresentada na Tabela 5. Verificou-se que no solvente tampão fosfato houve uma diminuição da porcentagem de proteína solubilizada da FT (13,13 %) em relação às massas alimentícias. Este fato pode ser atribuído à compactação das massas e ao desenvolvimento da rede de glúten durante o processamento, dificultando desta forma a extração dessas proteínas e, também a diluição das proteínas, no caso das amostras MAR e MARTG. No sistema que utiliza o solvente detergente SDS, a solubilidade proteica diminuiu significativamente ($p < 0,05$) entre a FT e as demais amostras. Tal fato pode estar relacionado ao fato de que com o desenvolvimento da matriz proteica ocorre um aumento no peso molecular das proteínas (AALAMI; LEELAVATHI, 008).

Em sistemas onde são utilizados solventes redutores, como β -ME, ocorre maior solubilização das proteínas quando ocorre o desenvolvimento de ligações dissulfeto (S-S), que é característico na formação da matriz proteica do glúten. Este comportamento ficou evidenciado neste estudo, uma vez que a MFT apresentou os maiores valores de solubilização das proteínas (1,10 %), e a FT o menor valor (0,18 %). As massas alimentícias MAR e MARTG não apresentaram

diferença, o que de certa forma já era esperado, uma vez que, TG não atua nas ligações dissulfídicas (AALAMI; LEELAVATHI, 2008).

Tabela 3. Solubilidade de proteínas das massas alimentícias em diferentes solventes

| Amostra | PB | PB+SDS | PB+ β -ME | PB+SDS+ β -ME |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| FT | 13,13 \pm 0,24 ^a | 54,76 \pm 5,67 ^a | 0,18 \pm 0,50 ^c | 84,27 \pm 1,67 ^a |
| MFT | 9,92 \pm 0,29 ^b | 37,41 \pm 1,02 ^b | 1,10 \pm 0,37 ^a | 84,23 \pm 2,15 ^a |
| MAR | 9,46 \pm 0,26 ^c | 38,34 \pm 1,46 ^b | 0,55 \pm 0,24 ^b | 84,16 \pm 4,89 ^a |
| MARTG | 9,25 \pm 0,65 ^c | 37,66 \pm 0,31 ^b | 0,87 \pm 0,28 ^b | 73,60 \pm 1,47 ^b |

Média de três repetições \pm desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); FT – farinha de trigo; MFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); MAR: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição de enzima; MARTG: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente com adição de enzima; PB – tampão fosfato 27,5mM pH 7,5; SDS – dodecil sulfato de sódio 4 %; β -ME – β -mercaptoetanol 5 %.

No sistema com uso de todos os solventes (PB+SDS+ β -ME) observou-se que ocorreu extração maior se comparado ao somatório dos sistemas de solventes isolados. Acredita-se que isto pode estar relacionado ao sinergismo entre os solventes, possibilitando assim maior extração proteica.

Além disso, ficou evidenciado que o uso da enzima TG não apresentou influência sobre a solubilidade proteica nos sistemas utilizados, exceto no sistema que utiliza todos os solventes juntos. Isto foi observado por Aalami e Leelavathi (2008), que utilizaram uma mistura de solventes (PB+SDS+ β -ME) e verificaram uma diminuição na solubilidade proteica de massas alimentícias adicionadas de TG.

3.1.7 Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE)

A Figura 2 demonstra a distribuição das proteínas do trigo encontradas nas massas alimentícias (MAR, MARTG e MFT). O perfil eletroforético das proteínas mostra três regiões principais de bandas proteicas, com pesos moleculares oscilando de 30 a 36, 40 a 45 e 75 a 125 kDa. Porém, não foi possível verificar alterações nos pesos moleculares das proteínas do glúten tratadas com transglutaminase. O que pode ser justificado pela maior afinidade da TG em formar ligações cruzadas com as proteínas formadoras do glúten e, neste caso,

ocorreu diluição pela adição do amido resistente (GERRARD et al., 2001; MEDINA-RODRÍGUEZ et al., 2009; BELLIDO, HATCHER, 2011).

As proteínas formadoras do glúten podem ser classificadas em três principais grupos: um grupo de alto peso molecular (HMW) incluindo os tipos subunidades de glutenina α - e γ -; um grupo de médio peso molecular (MMW) com ω 5- e ω 1,2- tipos de gliadina; e um grupo de baixo peso molecular (LMW) consistindo de subunidades de glutenina ϵ , α - e γ - tipos de gliadina (WIESER; ANTES; SEILMEIER, 1998). Estudos têm demonstrado que TG forma ligações cruzadas preferencialmente com as proteínas formadoras do glúten, glutenina e gliadina, de alto peso molecular (> 85 kDa), mostrando pouca afinidade com gliadinas de baixo peso molecular (<70 kDa) (GERRARD et al., 2001; MEDINA-RODRÍGUEZ et al., 2009; BELLIDO; HATCHER, 2011).

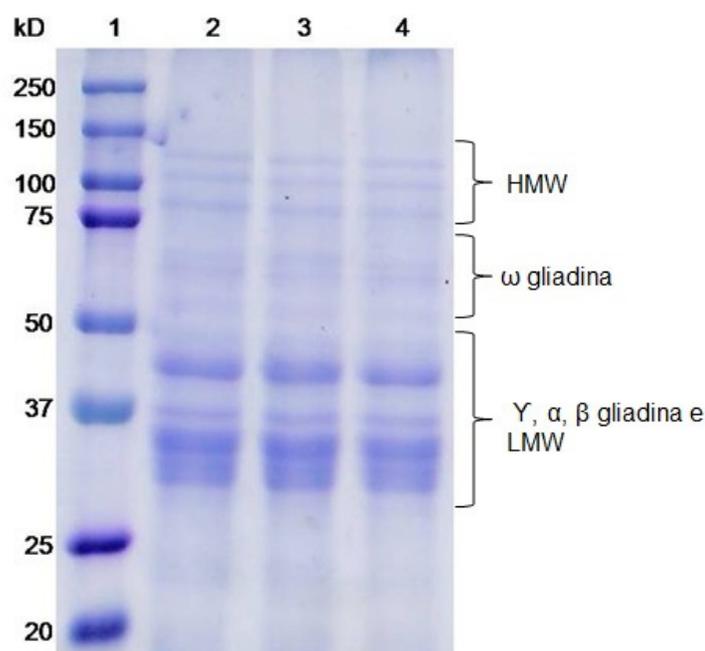


Figura 3. Perfil eletroforético de proteínas das massas alimentícias por eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE).

1: Padrão *Bio-rad* (161-0375), 2: MFT (amostra controle com 100 % farinha de trigo), 3: MAR (86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição da enzima) e 4: MARTG (86 % de farinha de trigo, 14 % de amido resistente com adição da enzima).

Existem poucos trabalhos avaliando o perfil eletroforético de massas alimentícias adicionadas de TG. Em um estudo em massas alimentícias de duas

variedades de trigo *durum* (PDW 274 e MACS 1967), os autores verificaram uma diminuição progressiva na intensidade das bandas correspondentes ao peso molecular de cerca de 66 kDa, especialmente na variedade PDW 274, com o aumento da concentração de TG. Isto não ficou claro para as amostras contendo MACS 1967. Por outro lado, foram formadas novas bandas, correspondentes a moléculas de alto peso molecular (aproximadamente 116 kDa), com o uso da enzima (AALAMI, LEELAVATHI, 2008).

No presente estudo, pode ter ocorrido a formação de compostos de elevado peso molecular, os quais não foram capazes de penetrar no gel de separação.

3.1.8 Calorimetria diferencial de varredura - DSC

A gelatinização e fusão do amido são fenômenos importantes que ocorrem durante o processamento e preparo de diversos alimentos, pois fornecem características únicas de textura e estrutura para os produtos. O conhecimento da cinética de gelatinização e fusão do amido é importante para projetar e otimizar processos como extrusão e cozimento de massas alimentícias (SPIGNO; DE FAVERI, 2004). O amido é o componente majoritário do trigo, e as características de textura do espaguete são influenciadas pelas propriedades do amido gelatinizado. O grânulo de amido nativo é um polímero parcialmente cristalino que perde sua cristalinidade e ordem molecular durante a gelatinização. A temperatura de gelatinização é característica do tipo de amido e depende da transição vítrea da fração amorfa do amido (SOZER et al., 2007).

A adição de TG não influenciou significativamente ($p < 0,05$) os parâmetros analisados através de calorimetria diferencial de varredura (Tabela 6). Os resultados para temperatura inicial de gelatinização, temperatura de pico, temperatura final de gelatinização e entalpia de gelatinização para os espaguetes com amido resistente adicionados ou não de TG e para a amostra controle encontram-se muito próximos. Isto pode ser explicado pelo fato de que da farinha de trigo, presente em todas as amostras, gelatinizou normalmente. A diminuição da ΔH se deve a menor quantidade de amido de trigo presente nas amostras MAR e MARTG. Sozer et al. (2007) avaliando as propriedades térmicas de espaguete

enriquecido com amido resistente em diferentes tempos de cozimento (0 a 10 min), encontraram valores superiores para todos os parâmetros, com exceção da entalpia de gelatinização.

Tabela 4. Propriedades térmicas das massas alimentícias

| Amostra | T_o (°C)* | T_p (°C)* | T_f (°C)* | Entalpia (J/g)* |
|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| Controle MFT | 53,93±0,42 ^a | 59,75±0,31 ^a | 64,98±0,39 ^a | 4,17±0,25 ^a |
| MAR | 53,18±0,85 ^a | 59,45±0,39 ^a | 65,10±0,28 ^a | 3,18±0,25 ^a |
| MARTG | 53,53±1,73 ^a | 60,51±0,55 ^a | 63,59±0,94 ^a | 3,40±0,50 ^a |

Média de três repetições ± desvio padrão; médias com letras distintas na mesma coluna apresentam diferença estatisticamente significativa entre si ($p < 0,05$); MFT – amostra controle de farinha de trigo (100 %); MAR: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição de enzima; MARTG: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente com adição de enzima.

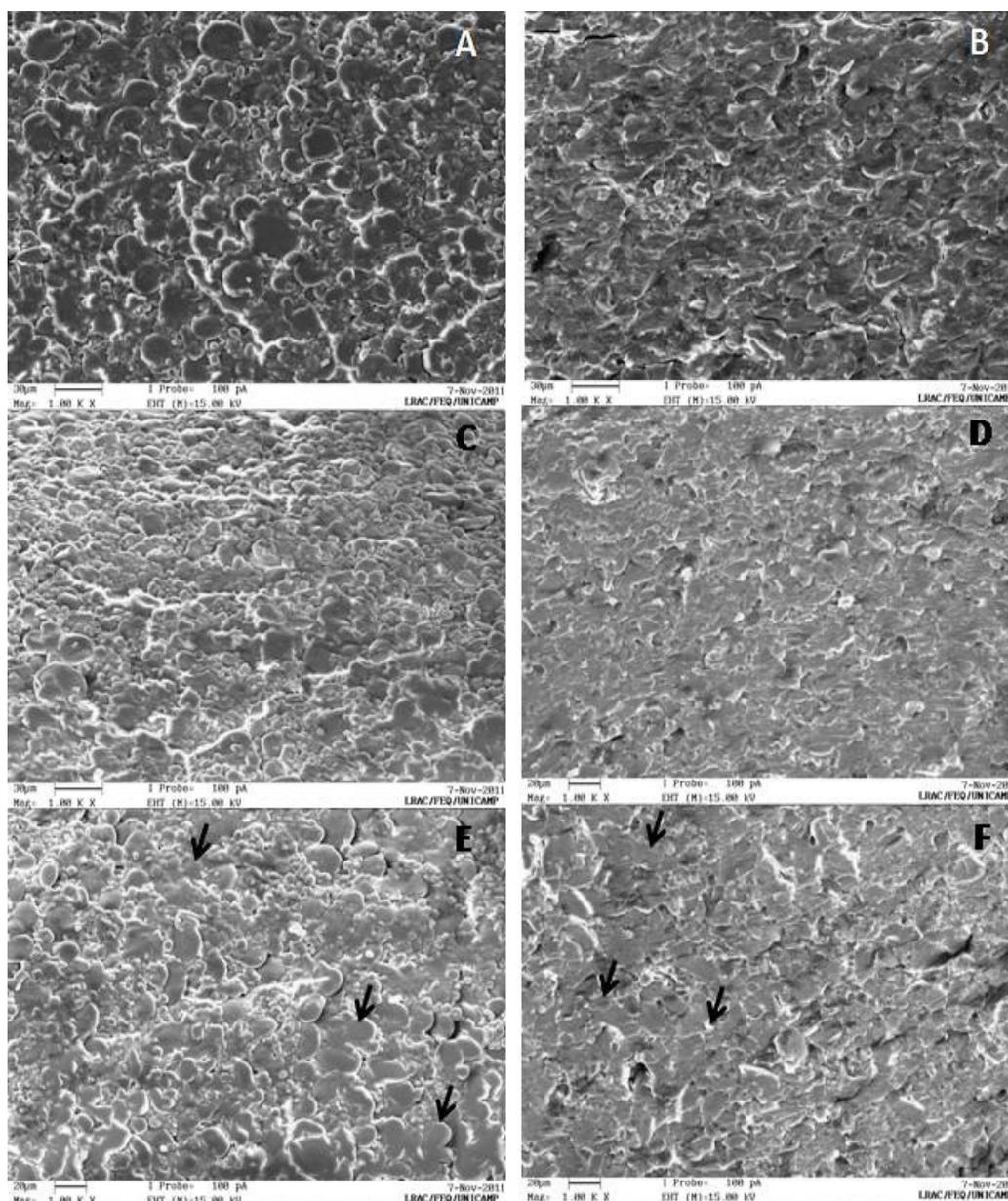
*T_o = Temperatura inicial da gelatinização, T_p = Temperatura de gelatinização, T_f = Temperatura pico e final da gelatinização e ΔH= variação de entalpia de gelatinização.

3.1.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As microestruturas dos espaguetes contendo AR, com e sem TG, e da amostra controle foram examinadas usando MEV (Figura 3).

Na amostra controle (Figura 3 - A e B) os grânulos de amido mostram-se mais salientes, o que não está tão evidente nas amostras com AR com (Figura 3 - E e F) e sem enzima (Figura 3 - C e D). O espaguete MARTG (Figura 3 - E e F) parece apresentar um aumento na espessura da camada de proteínas que cobre os grânulos de amido e também um maior grau de conectividade da rede de proteínas comparado ao controle e MAR (Figura 3 - C e D), além de apresentar regiões com uma aparência mais plana, pois os grânulos de amido estão menos evidentes que nas amostras sem TG (indicado pelas setas na Figura 3 – E e F).

Os resultados estão de acordo com o observado por Larre et al. (2000), em estudo das propriedades de glúten modificado por transglutaminase, onde



verificaram uma maior conectividade dentro da rede de glúten. Choy, Hughes e Small (2010) em trabalho com *noodles* adicionados de TG (0,50 e 1,00 %), descreveram uma aparência mais compacta com a adição de 1 % de TG comparado com a amostra controle. Bellido e Hatcher (2011) também observaram, em *noodles*, incremento da espessura da camada de proteínas que cobrem os grânulos de amido por efeito da TG.

Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura longitudinal (A, C e E) e transversal (B, D e F) das amostras MFT (A e B), MAR (C e D) e MARTG (E e F).

As setas indicam camadas mais espessas de proteínas que cobrem os grânulos de amido. MFT (amostra controle com 100 % farinha de trigo), MAR (86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição da enzima) e MARTG (86 % de farinha de trigo, 14 % de amido resistente com adição da enzima).

O resultado encontrado para MARTG pode estar relacionado à maior firmeza deste produto (item 3.1.3), como consequência da estrutura mais compacta observada na microestrutura.

3.1.10 Espectrometria de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Nos espectros das matérias-primas apresentados na Figura 4, observa-se que FT e AR apresentam bandas semelhantes. No entanto, FT apresenta uma banda (com absorção de aproximadamente 1540 cm^{-1}) que caracteriza a presença de amida II (flexão N-H), a qual segundo Rahman et al. (2011), pode caracterizar a ligação água-proteína, e está relacionada com a umidade do macarrão por meio de ligação natural da água com a matriz sólida.

Os espectros de absorção das massas alimentícias MAR, MARTG e controle (MFT) mostram basicamente as mesmas bandas, características de suas estruturas químicas. As três formulações apresentaram uma banda com absorção aproximada de 1647 cm^{-1} , que caracteriza a presença de aminoácidos contendo grupo lateral NH_2 ($1660 - 1610\text{ cm}^{-1}$), a exemplo da lisina, a qual participa da reação de intercruzamento, causada pela transglutaminase juntamente com o ácido glutâmico. Porém, como a farinha usada em ambas formulações possui aminoácidos com grupamento NH_2 , não foi possível verificar se a reação de intercruzamento ocorreu, e em que grau, mas sabe-se que a reação não foi completa, já que em MARTG apresentou esse grupamento também na forma permanece livre.

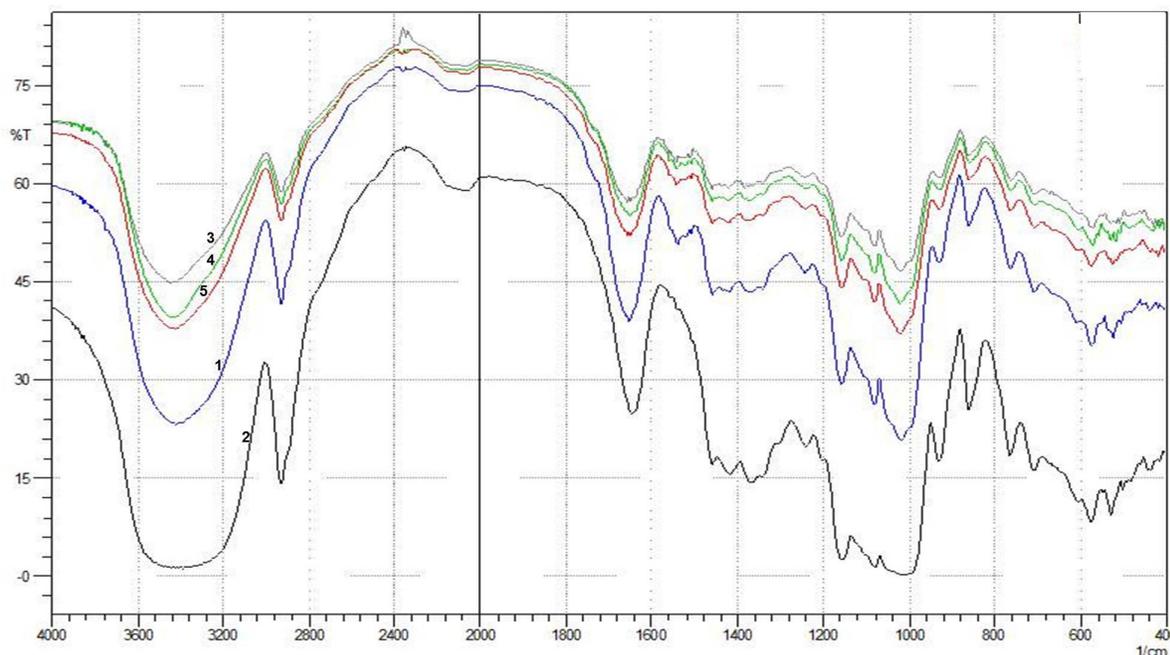


Figura 5. Espectros de absorção por infra-vermelho das matérias-primas (FT e AR) e das massas alimentícias (MFT, MAR e MARTG).

1: FT (farinha de trigo), 2: AR (amido resistente), 3: MFT (amostra controle com 100 % farinha de trigo), 4: MAR (86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição da enzima), 5: MARTG (86 % de farinha de trigo, 14 % de amido resistente com adição da enzima).

3.1.11 Avaliação sensorial

Os resultados do teste de comparação múltipla (Tabela 7) demonstraram que os espaguetes com adição de amido resistente, com e sem enzima, não diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre si nos atributos analisados (aparência, textura e sabor), e também não apresentaram diferença em relação à amostra controle, já que as médias obtidas equivaleram, de acordo com a escala usada, a “igual ao padrão”. Estes resultados mostram que a adição de amido resistente não prejudicou as características deste produto.

Em relação ao teste de aceitação, as amostras controle, MAR e MARTG não diferiram significativamente ($p < 0,05$), apresentando médias muito próximas, as quais equivaleram a “gostei moderadamente” de acordo com a escala hedônica de 9 pontos utilizada. Os índices de aceitabilidade foram de 81,55 % para o MFT, 78,44 % para MAR e 78,67 % para MARTG. Desta forma, de acordo com Gularte (2009), os produtos são considerados aceitos em termos de suas propriedades sensoriais, pois atingiram índice de aceitabilidade maior que 70%.

Tabela 5. Teste de comparação múltipla, de aceitação, índice de aceitabilidade e de intenção de compra das massas alimentícias

| Testes sensoriais | | MAR | MARTG | EFT |
|------------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| Teste de comparação múltipla | Aparência | 5,03±1,62 ^a | 5,12±1,47 ^a | - |
| | Textura | 5,31±1,68 ^a | 5,42±1,52 ^a | - |
| | Sabor | 5,42±1,46 ^a | 5,33±1,37 ^a | - |
| Teste de aceitação | | 7,08±1,11 ^a | 7,06±1,14 ^a | 7,34±1,19 ^a |
| Índice de aceitabilidade (%) | | 78,44 | 78,67 | 81,22 |
| Intenção de compra | | 4,03±1,09 ^a | 4,07±0,924 ^a | 4,56±0,93 ^a |

MAR: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente sem adição de enzima; MARTG: 86 % de farinha de trigo e 14 % de amido resistente com adição de enzima; EFT: 100 % de farinha de trigo.

Hernández-Nava et al. (2009) avaliaram a aceitabilidade de espaguete suplementado com farinha de banana verde (0 a 20 %) e verificaram que a adição de 15 % resultou em maior aceitabilidade.

Os produtos também foram avaliados sensorialmente quanto à intenção de compra, não apresentando diferença estatística ($p < 0,05$). Os valores médios de intenção de compra foram de 4,56±0,93, 4,03±1,09 e 4,07±0,92, respectivos ao espaguete controle, MAR e MART, que equivale a “provavelmente compraria” de acordo com a escala utilizada no teste.

Os resultados da avaliação sensorial sugerem grande potencial comercial para a aceitabilidade de espaguete contendo amido resistente, produto considerado fonte de fibras, além de atuar como prebiótico, uma vez que os provadores não acharam diferenças entre os produtos adicionados de amido resistente, com e sem enzima, e a formulação controle.

4 CONCLUSÃO

A adição de transglutaminase (TG) em massas alimentícias adicionadas de amido resistente influenciou as características de textura. A firmeza e a elasticidade, parâmetros considerados importantes neste tipo produto, foram superiores com o uso da enzima. Tal fato deve-se à possível formação de ligações cruzadas nas proteínas causadas pela TG.

Massas alimentícias adicionadas de 14 % de amido resistente podem usar o apelo nutricional de fonte de fibras e produto prebiótico; além disso, se mostraram produtos de baixo índice glicêmico.

Em relação às características estruturais, também foi possível verificar o efeito da TG. A microestrutura, obtida através de microscopia eletrônica de varredura, indicou que MARTG apresentou os grânulos de amido mais cobertos pela rede proteica, que parece estar melhor desenvolvida. Em relação à solubilidade proteica, observou-se efeito da TG com o uso de todos solventes juntos (PB – tampão fosfato 27,5mM pH 7,5; SDS – dodecil sulfato de sódio 4 %; β -ME – β -mercaptoetanol 5 %), onde a solubilidade de MARTG foi inferior às demais amostras, o que mostrou indícios de ligações químicas formadas devido à presença de compostos de maior peso molecular.

A avaliação sensorial mostrou que as massas alimentícias constituem produtos com características similares às massas alimentícias tradicionais encontradas no mercado. Além disso, podem ser comercialmente fabricadas como produtos de valor agregado pela incorporação da alegação fonte de fibras, alimento prebiótico e de baixo índice glicêmico.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP, CAPES, *National Starch*, *Bunge*, *Ajinomoto*, Pastifício Selmi e Embrapa Agroindústria de Alimentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved methods. 11th ed. St. Paul: AACC, 2010.

AALAMI, M.; LEELAVATHI, K. Effect of microbial transglutaminase on spaghetti quality. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 5, p. 306-312, 2008.

ALMEIDA, E.L.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Effect of adding different dietary fiber sources on Farinographic parameters os heat flour. **Cereal Chemistry**, v.87, n.6, p.566-573, 2012.

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

APARECIDO-SANGUILÁN, A.; SÁYAGO-AYERDI, S.; VARGAS-TORRES, J.T.; ASCENSO-OTERO, T.E.; BELLO-PÉREZ, L.A. Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich lintnerized banana starch. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.20, p.175-181, 2007.

BASMAN, A.; KOKSEL, H.; ATLI, A. Effects of increasing levels of transglutaminase on cooking quality of bran supplemented spaghetti. **European Food Research Technology**, v. 223, p. 547–551, 2006.

BAIXAULI, R.; SANZ, T.; SALVADOR, A.; FISZMAN, S. M. Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter. **Journal of Cereal Science**, v.47, p.502-509, 2008.

BELLIDO, G. G.; HATCHER, D. W. Effects of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chinese-style noodles. **Food Chemistry**, v. 125, p. 813–822, 2011.

BOUCHÉ, C.; RIZKALLA, S.W.; JING, L.; VIDAL, H.; VERONESE, A.; PACHER N, et al. Five-week, low-glycemic index diet decreases total fat mass and improves plasma lipid profile in moderately overweight nondiabetic men. **Diabetes Care**, v.25, p.822-828, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria**. Portaria SVS/MS nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 05 de setembro de 2011.

CARREIRA, M. C.; LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Glycemic Index: Effect of Food Storage under Low Temperature. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 4, p.569-574, 2004.

CHAMP, M.; FAISANT, N. Resistant starch: analytical and physiological aspects. **Boletim da Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1 p.37-43, 1996.

CHILLO, S, LAVERSE, J., FALCONE, P.M., PROTOPAPA, A., DEL NOBILE, M.A. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. **Journal of Cereal Science**, v.47, p.144–152, 2008.

CHOY, A.; HUGHES, J.G.; SMALL, D.M. The effects of microbial transglutaminase, sodium stearoyl lactylate and water on the quality of instant fried noodles. **Food Chemistry**, v.122, p.957–964, 2010.

DICK, J.W.; YOUNGS, V.L. **Evaluation of durum wheat semolina and pasta in the United States**. In: Fabriani G. and Lintas C. (eds), *Durum Wheat, Chemistry and Technology*. St. Paul, MN: The American Association of Cereal Chemists, pp.237-248, 1988.

DUBE, M.; SCHÄFER, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R.. Texturisation and modification of vegetable proteins for food applications using microbial transglutaminase. **European Food Research and Technology**, v. 225, p. 287-299, 2007.

DUPONT, F.M.; ALTENBACH, S.B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. **Journal of Cereal Science**, v.38, p. 133-146, 2003.

GERRARD, J.A.; FAYLE, S.E.; BROWN, P.A.; SUTTON, K.H.; SIMMONS, L.; RASIAH, I. Effects of Microbial Transglutaminase on the Wheat Proteins of Bread and Croissant Dough. **Journal of Food Science**, v.66, n.6, p.782-786, 2001.

GOÑI, I.; GARCIA-DIZ, L.; MAÑAS, E.; SAURA-CALIXTO, F. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v. 56, n. 4, p. 445-449, 1996.

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

GULARTE, M.A. **Manual de Análise Sensorial de Alimentos**. Editora e Gráfica Universitária, UFPel, 2009. p.109.

GUTTIERRES, A.P.M; ALFENAS, R.C.G. Efeitos do índice glicêmico no balanço energético. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v.51, n.3, 2007.

HARALAMPU, S. G. Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS3. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, p. 285-292, 2000.

HERNÁNDEZ-NAVA, R.G.; BERRIOS, J.; DE PAN, J.; OSORIO-DÍAZ, P.; BELLO-PEREZ, L.A. Development and Characterization of Spaghetti with High Resistant Starch Content Supplemented with Banana Starch. **Food Science and Technology International**, v. 15, p. 73-78, 2009.

JENKINS, D.J.; KENDALL, C.W.; AUGUSTIN, L.S.; FRANCESCHI, S.; HAMIDI, M.; MARCHIE, A.; JENKINS, A.L.; AXELSEN, M. Glycemic index: overview of implications in health and disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.76, n.1, p.266-273, 2002.

JIANG, H. **Resistant-starch formation in high-amylose maize starch**. 2010. 197 f. Ames-Iowa. Dissertation (Master in Food Science and Technology) - Iowa State University, Ames, 2010.

KURAISHI, C.; YAMAZAKI, K.; SUSA, Y. Transglutaminase: its utilization in the food industry food. **Reviews International**, v.17, n.2, p. 221-246, 2001.

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

LARRE, C.; DENERY-PAPINI, S.; POPINEAU, Y.; DESHAYES, G.; DESSERME, C.; LEFEBVRE, J. Biochemical analysis and rheological properties of gluten modified by transglutaminase. **Cereal Chemistry**, v.77, p.121-127, 2000.

LEI, F.; JI-CHUN, T.; CAI-LING, S.; CHUN, L. RVA and Farinograph properties study on blends of resistant starch and wheat flour. **Agricultural Sciences in China**, v.7, n.7, p.812-822, 2008.

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

MEDINA-RODRÍGUEZ, C. L.; TORRES, P.; MARTÍNEZ-BUSTOS, F.; RAMIREZ-WONG, B.; PAREDES-LÓPEZ, O.; CASTAÑO-TOSTADO, E. Effect of microbial transglutaminase on dough proteins of hard and soft (*Triticum aestivium*) and durum (*Triticum durum*) wheat cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 86, n. 2, p. 127-132, 2009.

MENEZES, E. W.; LAJOLO, F. M. Marcadores in vivo e in vitro de carbídratos. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. (Eds.). **Carbóhidratos en alimentos regionales iberoamericanos**. Proyecto CYTED/CNPq XI.18. Composición, estructura propiedades biológicas de carbóhidratos y su utilización em alimentos, EDUSP, São Paulo, p. 309-334, 2006.

NUGENT, A. P. **Health properties of resistant starch**. British Nutrition Foundation, London, UK. 30, 27–54. 2005.

OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L.A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**, v.113, p.121-126, 2009.

PAWLAK, D.B.; BRYSON, J.M.; DENYER, G.S; BRAND-MILLER, J.C. High glycemic index starch promotes hypersecretion of insulin and higher body fat in rats without affecting insulin sensitivity. **Journal of Nutrition**, v.131, p.99-104, 2001.

RAHMAN, M.S.; SENADEERA, W.; AL-ALAWI, A.; TRUONG, T.; BHANDARI, B.; AL-SAIDI, G. Thermal transition properties of spaghetti measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). **Food Bioprocess Technology**, v.4, p.1422–1431, 2011.

SALGADO, S. M.; FARO, Z.P.; GUERRA, N.B.; LIVERA, A.V.S. Aspectos físicoquímicos e fisiológicos do amido resistente. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v.23, n.1, 2005.

SPIGNO, G.; DE FAVERI, D.M. Gelatinization kinetics of rice starch studied by non-isothermal calorimetric technique: influence of extraction method, water concentration and heating rate. **Journal of Food Engineering**, v.62, p.337-344, 2004.

SOZER, N.; DALGIÇ, A. C.; KAYA, A. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. **Journal of Food Engineering**, v.81, n.2, p. 476-484, 2007.

SOZER, N.; KAYA, A.; DALGIC, A. C. The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. **Journal of Texture Studies**, v. 39, p. 1–16, 2008.

STATISTICA for Windows – Release 7.0, StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA, 2004.

STONE, H.; SIDEL, J. **Sensory evaluation practices**. New York: Academic Press, 1993. 337p.

TAKÁCS, K.; GELENCSEÉR, E.; KOVÁCS, E.T. Effect of transglutaminase on the quality of wheat-based pasta products. **European Food Research Technology**, v. 226, p. 603–611, 2008.

THOMPSON, D. B. Strategies for the manufacture of resistant starch. **Food Science & Technology**, v. 11, p. 245-253, 2000.

TUDORICĂ, C.M.; KURI, V.; BRENNAN, C.S. Nutritional and physic chemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, p.347-356, 2002.

VERNAZA, M.G.L.; BIASUTTI, E.; SCHMIELE, M.; JAEKEL, L.Z.; BANNWART, A.; CHANG, Y.K. Effect of supplementation of wheat flour with resistant starch and monoglycerides in pasta dried at high temperatures. **International Journal of Food Science & Technology**, v.47, n.6, p.1302–1312, 2012.

VERNAZA, M.G.L.; CLERICI, M.T.P.S.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. Evaluation of the in vitro glycemic index of a fiber -rich extruded breakfast cereal produced with organic passion fruit fiber and corn flour. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.4, p.964-968, 2010.

VERNAZA, M.G.L. **Macarrão instantâneo funcional obtido pelos processos de fritura convencional e a vácuo**. 2011. 189 f. Campinas-SP. Tese (Doutora em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2011.

WALTER, M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T. Amido resistente: características físicoquímicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência rural**, v. 35, n. 4, p. 974-980, 2005.

WANG, F.; HUANG, W.; KIM, Y.; LIU, R.; TILLEY, M. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin. **Journal of Cereal Science**, v. 54, p. 53-59, 2011.

WEBER, F.H. CLERICI, M.T.P.S.; COLLARES-QUEIROZ, F.P.; CHANG, Y.K. Interaction of guar and xanthan gums with starch in the gels obtained from normal, waxy and high-amylose corn starches. **Starch/Stärke**, v.61, p.28-34, 2009.

WIESER, H.; ANTES, S.; SEILMEIER, W. Quantitative Determination of Gluten Protein Types in Wheat Flour by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography, **Cereal Chemistry**, v.75, n.5, p.644-650, 1998.

WU, J. P.; CORKE, H. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 2587-2594, 2005.

YOKOYAMA, K.; NIO, N.; KIKUCHI, Y. Properties and applications of microbial transglutaminase. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 64, p. 447- 454, 2004.

YUE, P.; WANG, S. Resistant starch in food applications. **Cereal Food World**, v.43, n.9, p.690-695, 1998.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos neste estudo permitiram concluir que:

1° artigo) No delineamento composto central rotacional (DCCR) que estudou farinha de trigo de grão inteiro (FTGI) e transglutaminase (TG) como variáveis independentes, foi verificado que FTGI influenciou as características farinográficas da farinha (tempo de desenvolvimento e índice de tolerância à mistura) e a cor (L^*) das massas alimentícias.

2° artigo) As massas alimentícias com 58 % de FTGI adicionadas de TG apresentaram elasticidade maior que as massas sem TG. Na microscopia eletrônica de varredura foi observada uma rede proteica mais compacta com grânulos de amido menos visíveis. Quanto à avaliação sensorial, as massas com e sem TG foram similares ao controle nos atributos sabor e textura e moderadamente melhor na aparência. Além disso, essas massas alimentícias com 58 % de FTGI podem levar a alegação fonte de fibras.

3° artigo) As variáveis independentes estudadas nesse DCCR (amido resistente e transglutaminase) foram estatisticamente significativas na cor, tempo ótimo de cozimento, aumento de peso e elasticidade.

4° artigo) Nesse estudo, as massas alimentícias adicionadas de 14 % de amido resistente (AR) e TG foram estatisticamente diferentes das massas sem adição na firmeza e elasticidade. Nas características estruturais foi possível observar, através de MEV, que os grânulos de amido estão menos evidentes, parecendo estar cobertos por uma rede proteica na amostra com adição de TG. Em relação à análise sensorial, as massas com AR, adicionadas ou não de TG, não diferiram entre si e nem da amostra controle na aparência, textura e sabor. Ambas as amostras foram consideradas aceitas pelos consumidores com média de aproximadamente 7, que corresponde a “gostei moderadamente”, e quanto à intenção de compra, a média foi 4, que equivale a “provavelmente compraria”. As massas alimentícias desenvolvidas com 14 % de AR foram consideradas fonte de fibras.

No geral, observou-se que a transglutaminase não influenciou em algumas características de cozimento, textura e estruturais, o que pode estar relacionado à

Conclusões gerais

quantidade de água e ao rápido tempo de processamento do produto comparado aos produtos de panificação, que dificultaram a atuação da enzima.

ANEXOS**ANEXO 1. Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE)**

Nome: _____ Idade: _____
Data: ____/____/____

PROJETO DE PESQUISA:***Avaliação sensorial de macarrão adicionado de fibras***

A pesquisa visa avaliar as características sensoriais de macarrão por provadores de 18 a 55 anos, habituados ao consumo deste produto. O grupo de provadores será composto por alunos, professores, funcionários e visitantes da FEA – UNICAMP, sendo recrutados por meio de anúncios em cartazes distribuídos por locais de acesso comum e mural *on-line* da FEA. Como bonificação, os provadores receberão um brinde apresentado na forma de guloseima (um chocolate, por exemplo).

O macarrão **CONTÊM GLÚTEN**, portanto, não são adequadas para o consumo por portadores de doença celíaca.

A análise sensorial será conduzida com amostras de macarrões com fibras, que foram produzidas em condições de higiene e de segurança alimentar, adequadas para o consumo humano, não acarretando risco à saúde do consumidor (provador).

Você está de acordo com os termos da pesquisa e concorda em participar?

() sim ; () não.

Assinatura do provador

Leandra Zafalon Jaekel – Pesquisadora de Doutorado

Pesquisadora responsável pelo projeto

Contatos: leandrazafalon@gmail.com

Fones: (19) 3521-4004 – Laboratório de Cereais (FEA-UNICAMP)

Comitê de Ética em Pesquisa – UNICAMP

Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126

Caixa Postal 6111; CEP: 13084-971 Campinas – SP

Fone: (19) 3521-8936

FAX: (19) 3521-7187

cep@fcm.unicamp.br

ANEXO 2. Aprovação do projeto pelo Comitê de ética – página 1



FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

www.fcm.unicamp.br/pesquisa/etica/index.html

CEP, 16/06/09.
(Grupo III)

PARECER CEP: Nº 362/2009 (Este nº deve ser citado nas correspondências referente a este projeto)
CAAE: 0277.0.146.000-09

I - IDENTIFICAÇÃO:

PROJETO: “DESENVOLVIMENTO DE MASSA ALIMENTÍCIA FUNCIONAL COM FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO E AMIDO RESISTENTE: INFLUÊNCIA DA TRANSGLUTAMINASE NA QUALIDADE DO PRODUTO FINAL”.

PESQUISADOR RESPONSÁVEL: Camila Batista da Silva.

INSTITUIÇÃO: Faculdade de Engenharia de Alimentos/UNICAMP

APRESENTAÇÃO AO CEP: 07/05/2009

APRESENTAR RELATÓRIO EM: 16/06/10 (O formulário encontra-se no site acima)

II - OBJETIVOS

Desenvolver massas alimentícias tipo espaguete com propriedades funcionais adicionais de farinha de trigo de grão inteiro ou amido resistente, mantendo a qualidade tecnológica das massas alimentícias convencionais, com a utilização da enzima transglutaminase.

III - SUMÁRIO

A amostra do estudo será composta de 50 sujeitos, sendo eles alunos, funcionários e professores da Unicamp. Essas pessoas serão convidadas a participar do estudo por meio de cartazes afixados em murais da Faculdade de Engenharia de Alimentos, bem como em sua página na internet. Os voluntários do estudo realizarão avaliação sensorial de três amostras de massa alimentar do tipo espaguete. A primeira delas será feita de farinha de trigo comum. A segunda terá a adição de farinha de trigo de grão inteiro a farinha comum. E a terceira terá a adição de amido resistente à farinha comum. Nos últimos dois casos, dado que a adição desses elementos influencia a rede de glúten da massa, comprometendo sua plasticidade, elasticidade, viscosidade, sabor e qualidade de cozimento, ambas as receitas também serão acrescidas da enzima transglutaminase. Essa enzima funciona como um catalisador da união entre proteínas, contribuindo, assim, com o fortalecimento da rede de glúten. As avaliações serão realizadas em cabines individuais, em laboratório da Faculdade de Engenharia de Alimentos. Para os testes, todos os voluntários irão provar três porções de 25g de massa alimentar, sendo uma de cada amostra. Após provarem as amostras, eles informarão, em formulário adequado, o grau de satisfação quanto à aparência, a cor, o aroma, a textura e o sabor de cada amostra. Esse grau de satisfação deverá ser expresso numa escala que vai de gostei muitíssimo a desgostei muitíssimo, totalizando nove possíveis graus de aceitação.

IV - COMENTÁRIOS DOS RELATORES

Após respostas às pendências, o projeto encontra-se adequadamente redigido e de acordo com a Resolução CNS/MS 196/96 e suas complementares, bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

ANEXO 3. Aprovação do projeto pelo Comitê de Ética – página 2**FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA**www.fcm.unicamp.br/pesquisa/etica/index.html**V - PARECER DO CEP**

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, após acatar os pareceres dos membros-relatores previamente designados para o presente caso e atendendo todos os dispositivos das Resoluções 196/96 e complementares, resolve aprovar sem restrições o Protocolo de Pesquisa, bem como ter aprovado o Termo do Consentimento Livre e Esclarecido, assim como todos os anexos incluídos na Pesquisa supracitada.

O conteúdo e as conclusões aqui apresentados são de responsabilidade exclusiva do CEP/FCM/UNICAMP e não representam a opinião da Universidade Estadual de Campinas nem a comprometem.

VI - INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).

Pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.1.z), exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade do regime oferecido a um dos grupos de pesquisa (Item V.3.).

O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4.). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.

Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projeto do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma junto com o parecer aprovatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, Item III.2.e)

Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, de acordo com os prazos estabelecidos na Resolução CNS-MS 196/96.

VI I- DATA DA REUNIÃO

Homologado na V Reunião Ordinária do CEP/FCM, em 26 de maio de 2009.


Profa. Dra. Carmen Silvia Bertuzzo
VICE PRESIDENTE DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
FCM/UNICAMP

ANEXO 4. Alteração do pesquisador responsável



CEP, 26/04/11.
(PARECER CEP: N° 362/2009)

FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

www.fcm.unicamp.br/fcm/pesquisa

PARECER

I – IDENTIFICAÇÃO:

PROJETO: “DESENVOLVIMENTO DE MASSA ALIMENTÍCIA FUNCIONAL COM FARINHA DE TRIGO DE GRÃO INTEIRO E AMIDO RESISTENTE: INFLUÊNCIA DA TRANSGLUTAMINASE NA QUALIDADE DO PRODUTO FINAL”.

PESQUISADOR RESPONSÁVEL: Camila Batista da Silva

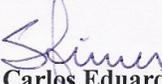
II – PARECER DO CEP.

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP tomou ciência e aprovou a emenda que altera o pesquisador responsável para Leandra Zafalon Jaekel, referente ao protocolo de pesquisa supracitado.

O conteúdo e as conclusões aqui apresentados são de responsabilidade exclusiva do CEP/FCM/UNICAMP e não representam a opinião da Universidade Estadual de Campinas nem a comprometem.

III – DATA DA REUNIÃO.

Homologado na IV Reunião Ordinária do CEP/FCM, em 26 de abril de 2011.


Prof. Dr. Carlos Eduardo Steiner
PRESIDENTE do COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
FCM / UNICAMP

Comitê de Ética em Pesquisa - UNICAMP
Rua: Tessália Vieira de Camargo, 126
Caixa Postal 6111
13083-887 Campinas – SP

FONE (019) 3521-8936
FAX (019) 3521-7187
cep@fcm.unicamp.br

ANEXO 5. Ficha utilizada na avaliação sensorial das massas alimentícias

AVALIAÇÃO SENSORIAL – MASSA ALIMENTÍCIA COM FIBRA

Nome: _____ Sexo: () F () M

01) Teste de Comparação Múltipla

Você está recebendo uma amostra identificada como P (padrão – Espaguete sem adição de fibra) e duas amostras codificadas (espaguetes com adição de fibra). Compare cada amostra com o padrão em relação à aparência, textura e sabor. Determine se as amostras codificadas apresentam-se melhor, igual ou inferior à amostra P em cada atributo, de acordo com a escala abaixo:

| | | Nota |
|---|------------------------|------|
| 9 | Extremamente melhor | |
| 8 | Muito melhor | |
| 7 | Moderadamente melhor | |
| 6 | Ligeiramente melhor | |
| 5 | Igual ao padrão | |
| 4 | Ligeiramente inferior | |
| 3 | Moderadamente inferior | |
| 2 | Muito inferior | |
| 1 | Extremamente inferior | |

| Aparência | 215 | |
|-----------|-----|--|
| | 429 | |

| Textura | 215 | |
|---------|-----|--|
| | 429 | |

| Sabor | 215 | |
|-------|-----|--|
| | 429 | |

02) Teste de Aceitação

Com relação a estas mesmas três amostras, avalie o quanto gostou ou desgostou dos espaguetes, de acordo com a escala abaixo:

| | Nota |
|---|-------------------------|
| 9 | Gostei extremamente |
| 8 | Gostei muito |
| 7 | Gostei moderadamente |
| 6 | Gostei ligeiramente |
| 5 | Indiferente |
| 4 | Desgostei ligeiramente |
| 3 | Desgostei moderadamente |
| 2 | Desgostei muito |
| 1 | Desgostei extremamente |

| Padrão | |
|--------|--|
| 215 | |
| 429 | |

03) Teste de Intenção de Compra

Ainda com relação a estas mesmas três amostras, indique a sua intenção de compra, de acordo com a escala abaixo:

| | Nota |
|---|----------------------------------|
| 5 | Certamente compraria |
| 4 | Provavelmente compraria |
| 3 | Tenho dúvida se compraria ou não |
| 2 | Provavelmente não compraria |
| 1 | Certamente não compraria |

| Padrão | |
|--------|--|
| 215 | |
| 429 | |

Comentários: _____