

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ALINE BESSA PARMIGIANI MONTEIRO

**PRODUÇÃO DE PIGMENTO VERMELHO PELO FUNGO
MONASCUS RUBER POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO
SÓLIDO E SUA APLICAÇÃO NA ELABORAÇÃO DE PÃES**

Goiânia
2016

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

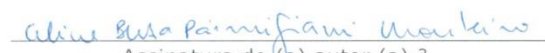
Nome completo do autor: Aline Bessa Parmigiani Monteiro

Título do trabalho: PRODUÇÃO DE PIGMENTO VERMELHO PELO FUNGO *Monascus ruber* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO E SUA APLICAÇÃO NA ELABORAÇÃO DE PÃES.

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ **SIM** ☐ **NÃO**¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do (a) autor (a) ²

Data: 20 / 12 / 2016

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

²A assinatura deve ser escaneada.

ALINE BESSA PARMIGIANI MONTEIRO

**PRODUÇÃO DE PIGMENTO VERMELHO PELO FUNGO
MONASCUS RUBER POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO
SÓLIDO E SUA APLICAÇÃO NA ELABORAÇÃO DE PÃES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Francielo Vendruscolo

Coorientadora: Prof. Dra. Clarissa Damiani

Goiânia
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Bessa Parmigiani Monteiro, Aline
PRODUÇÃO DE PIGMENTO VERMELHO PELO FUNGO
Monascus ruber POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO E SUA
APLICAÇÃO NA ELABORAÇÃO DE PÃES. [manuscrito] / Aline Bessa
Parmigiani Monteiro. - 2016.
f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Francielo Vendruscolo; co-orientadora Dra.
Clarissa Damiani.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola
de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, Goiânia, 2016.
Bibliografia.

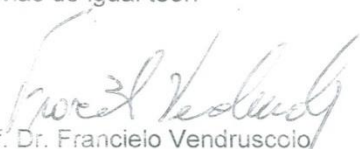
1. Fermentação em estado sólido. 2. Pigmentação. 3. Pão de forma.. I.
Vendruscolo, Francielo, orient. II. Título.

CDU 664



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
MESTRADO

ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE ALINE BESSA PARMIGIANI MONTEIRO. Aos quatro dias do mês de novembro de 2016 (04/11/2016), às 09h00min, reuniram os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Franciello Vendruscolo – orientador – PPGCTA/EA/UFG, a Profa. Dra. Rosângela Vera – EA/UFG e o Prof. Dr. Edson Pablo Silva – EA/UFG, para sob a presidência do primeiro, e em sessão pública realizada na sala 18 – prédio Central-EA/UFG, proceder a avaliação da defesa de dissertação intitulada: “Produção de pigmento vermelho pelo fungo *Monascus ruber* por fermentação em estado sólido e sua aplicação na elaboração de pães”, em nível de MESTRADO, área de concentração em CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, de autoria de **ALINE BESSA PARMIGIANI MONTEIRO**, discente do Programa de PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Franciello Vendruscolo, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a autora da dissertação, que, em trinta minutos, procedeu a apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca fez arguição da examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa, tendo-se em vista o que consta na Resolução nº. 1403/2016 do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **Aprovada** e, para fins de expedição do diploma de MESTRE EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, na área de concentração em CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS pela Universidade Federal de Goiás, a mesma deverá proceder de acordo com as normas, nos termos do artigo 68 da resolução do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Cumpridas as formalidades de pauta, às 11h30min, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação, e para constar, lavrou-se a presente Ata, que, depois de lida e aprovada, é assinada pelos membros da Banca Examinadora em três vias de igual teor.


Prof. Dr. Franciello Vendruscolo
Presidente – PPGCTA/EA/UFG


Profa. Dra. Rosângela Vera
Membro – EA-UFG


Prof. Dr. Edson Pablo Silva
Membro – EA/UFG

Dedico este trabalho a Deus, pois foi só com Ele que consegui terminá-lo. Foi Ele que, por conhecer o meu íntimo, me deu força, paciência e dedicação necessárias. Dedico, ainda, aos meus amores, Gustavo e Daniel, e à minha querida mãe.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e pela oportunidade de crescimento.

Ao meu amado marido Gustavo pelo amor, companheirismo, incentivo, paciência e pelas palavras de sabedoria. Obrigada por acordar de madrugada para me auxiliar no trabalho todas as vezes que precisei.

Ao meu filhote Daniel, por dar sentido a minha vida, por me ensinar o que é ter o coração batendo fora do próprio corpo, por ser meu. Obrigada por ficar sentadinho vendo a mamãe estudar por muitas vezes.

Aos meus pais, Luzia e Haroldo, em especial a minha mãe por ser minha maior incentivadora, por sempre acreditar em mim quando nem eu mesma acreditava. Obrigada por ser amiga, irmã, parceira, conselheira, psicóloga, enfermeira... Obrigada por me auxiliar nas análises, acordar cedo, correr para universidade comigo, cuidar infinitas vezes do Daniel para eu poder estudar com mais tranquilidade. Sem a senhora não teria conseguido.

Aos meus irmãos Guilherme, Raphael, Frederico e Alice, por compreenderem a minha ausência em alguns momentos que me dediquei a este trabalho. Agradeço, em especial, ao Rapha que é um pesquisador nato, minha fonte de inspiração nesta empreitada, com quem desabafei por inúmeras vezes e quem sempre me deu forças e puxões de orelha.

Ao professor Franciello, pela orientação, confiança, compreensão. Obrigada por contrariar os colegas do programa e ter acreditado em mim! A você, meu respeito e admiração. Vencemos!

À professora Clarissa, pela co-orientação, pelas dicas, ensinamentos, carinho e compreensão.

Ao professor Marcio, por ter me vencido pelo cansaço de convidar inúmeras vezes para ingressar no mestrado. Obrigada por me abrir as portas do conhecimento e por ser esse ser humano tão gentil, carinhoso e amigo.

À professora Maria Zaira, por permitir e incentivar os meus estudos, pela enorme compreensão e carinho durante esta caminhada.

Ao professor Albenones, pelo incentivo e pela contribuição com este trabalho.

Ao estado de Goiás e à Fundação de Amparo à Pesquisa, pelo incentivo por meio da concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Goiás, pela oportunidade de estudar em um curso de pós-graduação de qualidade gratuitamente.

À empresa EMEGÊ, pela doação de material e por permitir a realização de parte das análises em suas instalações.

À Cybele e Dona Lurdes, por permitir a invasão do espaço de trabalho de vocês, pelo auxílio nas análises, interpretação dos dados. O auxílio de vocês enriqueceu muito o meu trabalho.

Às amigas que conquistei no mestrado, Monick, Ellen e Thays, pelas horas de estudo, desespero, risadas, pelo companheirismo, parceria, vocês foram demais! Agradeço pelo auxílio e pelos estudos recheados de guloseimas.

Ao Moinho Vitória e às colegas Anyelle e Kassia, pela análise que lá foi realizada.

À colega Vilmaria, pelo empréstimo das formas de pão e pelas dicas.

Às colegas Mariany e Nayara, por me ensinarem e auxiliarem na parte inicial do meu trabalho.

A todos meus amigos, por compreenderem que a minha ausência física significava outra prioridade momentânea e não falta de amizade.

“Boas coisas acontecem para quem espera.
As melhores coisas acontecem para quem levanta e faz.”
(Autor desconhecido)

RESUMO

Corantes artificiais são comumente utilizados na indústria de alimentos, tanto pelo seu baixo custo como pela facilidade de obtenção. O mercado consumidor, entretanto, requer produtos mais saudáveis e uma alternativa viável seria a utilização de pigmentos naturais. Além de plantas, flores, frutos e animais, micro-organismos podem ser fonte deste tipo de pigmento, como fungos, bactérias e microalgas. A proposta deste trabalho foi produzir pigmento vermelho, a partir da fermentação de trigo pelo fungo *Monascus ruber*, visando a obtenção de farinhas modificadas e aplicá-las na produção de pães de forma. A partir dos fungos repicados em garrafas de Roux, foi produzida uma suspensão de esporos. A solução foi utilizada para inocular o trigo, previamente umidificado e esterilizado. O trigo fermentado, após o período de incubação, foi seco e moído para obtenção de farinha de trigo fermentado. Foram produzidas misturas nas proporções de 5, 10 e 15% de farinha de trigo fermentado e farinha de trigo branca. As amostras foram submetidas a diferentes análises químicas, físicas e tecnológicas. A partir das farinhas modificadas foram produzidos pães de forma, que foram caracterizados e comparados. Os resultados demonstraram viabilidade em produzir pigmento vermelho a partir de trigo. Além disso, as farinhas provenientes das misturas apresentaram boas características físicas, químicas e tecnológicas, podendo ser produzidos pães de forma a partir das amostras FC, F5%, F10% e F15%.

Palavras-chave: Fermentação em estado sólido, pigmento, pão de forma.

PRODUCTION OF RED PIGMENT FOR FUNGUS *Monascus ruber* BY SOLID STATE FERMENTATION AND HIS APLICATION IN BREAD PREPARATION

ABSTRACT

Artificial dyes are commonly used in the food industry because of its low cost and the ease of obtaining. The consumer market, however, is demanding healthier products and an alternative would be to use natural pigments. In addition to plants, flowers, fruits and animals, micro-organisms can be the source of these kind of pigments, like fungi, bacteria and microalgae. The purpose of this work was to produced red pigment from wheat by solid state fermentation from fungi *Monascus ruber*, in order to obtain modified flours and apply them in the production of bread. From the peaked fungi in Roux bottles, a spore solution was produced. The solution was used to inoculate wheat previously humidified and sterilized. After the incubation period, the fermented wheat was dried and ground to obtain fermented flour. Mixtures were produced in proportions of 5, 10 and 15% fermented flour and white flour. The samples were subjected to different chemical, physical and technological analysis. From the modified flour were produced breads, which were characterized and compared. The results demonstrated feasibility of producing red pigment from wheat. Furthermore, flour obtained from the mixtures exhibited good physical, chemical and technological. Breads can be produced from samples FC, F5%, F10% and F15%.

Key words: Solid state fermentation, pigment, bun.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Principais biopigmentos utilizados como corantes alimentares naturais	18
Tabela 2 -	Formulação das amostras de pães de forma com substituição parcial de farinha de trigo branca por farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> .	45
Tabela 3 -	Análise de das amostras de farinha de trigo branca e das misturas contendo farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> .	50
Tabela 4 -	Resultados das análises químicas das farinhas de trigo branca e das misturas contendo farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> .	51
Tabela 5 -	Resultados das análises de farinografia das farinhas de trigo branca e das misturas contendo farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> .	54
Tabela 6 -	Resultados das análises de extensografia das farinhas de trigo branca e das misturas contendo farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> .	56
Tabela 7 -	Resultados dos volumes específicos e dimensões dos pães obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> .	57
Tabela 8 -	Parâmetros de cor dos miolos e crostas dos pães obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado por <i>Monascus ruber</i> .	58
Tabela 9 -	Análise das imagens das amostras de pães obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado por <i>Monascus ruber</i> .	59
Tabela 10 -	Parâmetros de textura dos miolos e crostas das amostras de pães obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado por <i>Monascus ruber</i> .	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	<i>Monascus</i> spp. cultivados em ágar batata dextrose por 10 dias à 30°C, (a) <i>M. purpureus</i> ATCC 16365, (b) <i>M. purpureus</i> BCC 6131, (c) <i>M. purpureus</i> DMKU, (d) <i>M. purpureus</i> FTCMU, (e) <i>M. ruber</i> TISTR 3006 (PATTAGANUL, 2007).	17
Figura 2 -	Estrutura dos principais pigmentos produzidos por fungos <i>Monascus</i> (HAJJAJ et al., 1999).	20
Figura 3 -	Representação esquemática do farinograma com os parâmetros de TDM (Tempo de desenvolvimento da massa), Estabilidade e ITM (Índice de tolerância à mistura).	44
Figura 4 -	Representação esquemática do extensograma com os parâmetros de E (Energia), R (Resistência à extensão), R _{máx} (Resistência máxima) e Extensibilidade.	44
Figura 5 -	Fluxograma de produção dos pães.	
Figura 6 -	Demonstração da fatia central retirada dos pães de forma e os quatro diferentes quadrantes das imagens que foram capturados para análise da estrutura alveolar.	48
Figura 7 –	Comportamento da absorção de água pelos grãos de trigo (<i>Triticum aestivum</i>), mensurados de hora em hora, durante o teste de enxarcamento, realizado na cidade de Goiânia em 2015.	50
Figura 8 -	Micrografia observada no MEV com aumento de 50x, 500x, 1000x e 1500x das amostras: A) FC (farinha branca); B) F5% (mistura de farinha branca e 5% de farinha de trigo fermentado e pigmentado); C) F10% (mistura de farinha branca e 10% de farinha de trigo fermentado e pigmentado); D) F15% (mistura de farinha branca e 15% de farinha de trigo fermentado e pigmentado); E) F100% (farinha de trigo fermentado e pigmentado). A seta em azul indica as partículas grandes presentes na amostra F100%.	53
Figura 9 -	Pães de forma produzidos com farinha de trigo branca e com substituição parcial de farinha de trigo branca por farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> , inteiros e cortados, após o forneamento.	59
Figura 10 -	Imagens dos miolos dos pães de forma produzidos com farinha branca e com diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> , representando suas estruturas alveolares.	60
Figura 11 –	Comportamento de textura dos miolos dos pães de forma obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> .	61
Figura 12 -	Comportamento de textura das crostas dos pães de forma obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado e pigmentado por <i>Monascus ruber</i> .	62

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Energia
ABS	Absorção de água
AFCAPS/TexCAPS	Air Force/Texas Coronary Atherosclerosis Prevention Study
C	Coesividade
C*	Croma
CCT	Coleções de culturas tropicais
cm ²	Centímetros quadrados
cm ³	Centímetros cúbicos
DIC	Doença isquêmica do coração
DIC	Delineamento experimental inteiramente casualizado
E	Elasticidade
EST	Estabilidade
F	Firmeza
FC	Farinha branca
FES	Fermentação em estado sólido
Fr	Fraturabilidade
FSm	Fermentação Submersa
F5%	Mistura de farinha branca e 5% de farinha de trigo fermentado
F10%	Mistura de farinha branca e 10% de farinha de trigo fermentado
F15%	Mistura de farinha branca e 15% de farinha de trigo fermentado
F100%	Farinha de trigo fermentado
g	Gramas
h	Hora
H	Hue
HMG-CoA	3-hidroxi-3-metil glutaril coenzima A
ITM	Índice de tolerância à mistura
kV	Quilovolts
LDL	Lipoproteína de baixa densidade
M	Mastigabilidade
mL	Mililitros
mg	Miligramas
mm	Milímetros
mm/s	Milímetros por segundo
N	Newtons
nm	Nanômetros

PC	Pão controle
P5%	Pão com 5% de farinha de trigo fermentado
P10%	Pão com 10% de farinha de trigo fermentado
P15%	Pão com 15% de farinha de trigo fermentado
pH	Potencial hidrogeniônico
R	Resistência
RM	Resistência máxima
TDM	Tempo de desenvolvimento da massa
TPA	Texture profile analysis
UDO ₄₈₀	Unidades de absorbância a 480 nm
U.E.	Unidades extensográficas
%	Por cento
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

	CAPÍTULO I	13
1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	A COR E OS CORANTES	16
2.2	CORANTES ARTIFICIAIS E CORANTES NATURAIS	16
2.3	PIGMENTOS <i>Monascus</i>	19
2.4	PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DOS PIGMENTOS <i>Monascus</i>	19
2.5	FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	20
2.6	FARINHA DE TRIGO E PRODUTOS DE PANIFICAÇÃO	22
3	OBJETIVOS	24
3.1	OBJETIVO GERAL	24
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
	CAPÍTULO II	35
	ARTIGO I - Obtenção de pigmentos <i>Monascus</i> , por fermentação em estado sólido do trigo, visando a obtenção de farinhas modificadas e produção de pães de forma.	35
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A cor destaca-se dentre os atributos sensoriais dos alimentos, entretanto, durante o processamento, essa característica pode ser minimizada ou até mesmo extinta. As cores são adicionadas aos alimentos, principalmente, para restituir a aparência original, tornando o alimento visualmente mais atraente, conferindo coloração aos desprovidos de cor e reforçando as cores presentes nos alimentos (CONSTANT; STRINGHETA; SANDI, 2002).

Apesar da larga escala de aplicação de corantes artificiais na produção de alimentos, a ingestão destes é muito controversa para alguns especialistas, tendo em vista seus efeitos maléficos aos seres humanos. Corantes ou pigmentos naturais são importante alternativa aos sintéticos potencialmente prejudiciais (VELMURUGAN *et al.*, 2010). Esses pigmentos, obtidos de plantas, animais e minerais, são produtos de recursos biológicos sustentáveis e renováveis, apresentam baixo impacto ambiental e são utilizados em coloração de tecidos, ingredientes alimentícios e cosméticos (SHAHID; SHAHID-UL-ISLAM; MOHAMMAD, 2013).

Uma via alternativa para a produção dos corantes alimentares naturais é a aplicação de processos biotecnológicos empregando micro-organismos. Apesar da disponibilidade de grande variedade de pigmentos provenientes de frutas e legumes, há um interesse, cada vez maior, por pigmentos microbianos devido a razões como caráter natural e segurança para uso; produção independente de estações do ano e das condições geográficas; processo controlável e previsível rendimento, não estando sujeitos a intempéries da natureza como, por exemplo, na produção de cochonilha (FRANCIS, 1987).

Diferentes espécies de bactérias, fungos, leveduras e algas podem produzir pigmentos, mas apenas alguns são considerados adequados para este fim (HEJAZI; WIJFFELS, 2004). Os pigmentos são metabólitos secundários do crescimento de alguns micro-organismos, dentre eles o *Monascus*, quimicamente pertencente ao grupo dos Azaphilonas, que são metabólitos típicos de fungos (FABRE *et al.*, 1993). *Monascus* são encontrados, frequentemente, nos alimentos orientais, especialmente no sul da China, Japão e sudeste da Ásia. *Angkak* (arroz cultivado por

Monascus) é amplamente utilizado no Japão para colorir os alimentos proteicos (BABITHA, 2009).

Além do pigmento, esses micro-organismos produzem outros metabólitos secundários de interesse comercial como, por exemplo, a lovastatina. As estatinas são um grupo de compostos bioativos, inibidores da 3-hidroxi-3-metil glutaril coenzima A (HMG-CoA redutase), utilizadas para reduzir colesterol em pacientes que sofrem de hipercolesterolemia e que têm, portanto, um risco maior de desenvolver aterosclerose e sofrer episódios de doença cardiovascular (ANGARITA *et al.*, 2012). Ademais, pesquisas sobre o câncer indicam que a incidência da doença foi reduzida em pacientes que tomam estatinas. A Air Force/Texas Coronary Atherosclerosis Prevention Study (AFCAPS/TexCAPS) encontrou diminuição na incidência de novos melanomas ao avaliar a eficácia de lovastatina na prevenção de doenças cardiovasculares (GONZALEZ; MIRANDA, 2010).

A produção dos pigmentos pelo *Monascus* pode ocorrer por fermentação em estado sólido ou submersa. A fermentação em estado sólido (FES), no entanto, confere maior rendimento e produtividade de pigmento do que a fermentação submersa. Lin (1973) demonstrou que a produção de pigmento em cultura submersa foi apenas 10% do que na cultura de estado sólido. Para reduzir os custos de fermentações em escala industrial, a utilização de subprodutos agroindustriais como substratos para a biossíntese microbiana tem sido objeto de muitas pesquisas, o que destaca o potencial biotecnológico de FES (PANDEY; SOCCOL; MITCHELL, 2000, CARVALHO *et al.*, 2007). Outra vantagem que FES oferece é a aplicação de sólidos fermentados integralmente, diretamente como um corante, sem isolar o produto, sendo um ingrediente. Os fungos são mais adequados para o FES, pois o substrato sólido apresenta habitat mais adequado para este micro-organismo (PANDEY, 1994).

O trigo apresenta composição química que pode ser adequada para produção de biopigmentos *Monascus*, por meio da fermentação em estado sólido. Além de ser rico em carboidratos, sob a forma de amido (70-75%), é também boa fonte de nitrogênio tendo em vista que sua composição proteica está na faixa de 8-16% (SCHEUER *et al.*, 2011), que é satisfatória para este fim.

Muitos produtos alimentícios são produzidos a partir do trigo, principalmente sob a forma de farinha. Dentre esses produtos, os pães possuem destaque devido seu alto consumo e por serem considerados o alimento processado mais antigo da humanidade. Além disso, o pão é

altamente energético por ser rico no macronutriente carboidrato, que constitui a base da pirâmide alimentar (CAUVAIN, 2009).

Neste contexto, a utilização de trigo fermentado por *Monascus ruber*, além de produzir pães com características sensorialmente diferentes, visa obter um produto potencialmente benéfico aos seus consumidores tendo em vista os efeitos supracitados dos metabólitos produzidos pelo micro-organismo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A COR E OS CORANTES

O fenômeno óptico da cor é provocado pela percepção do olho humano a determinadas regiões do espectro eletromagnético com comprimento de ondas compreendido, para a maioria das pessoas, entre 380 a 780nm. Cada cor corresponde a uma parcela dessa faixa, sendo que o menor comprimento de onda do espectro visível corresponde à cor violeta e a maior à vermelha. Um feixe de fótons promove uma ação na retina, transmitindo informações pré-processadas do nervo óptico para o sistema nervoso central (TIPLER, 2000; BÜHLER, 2013).

Os seres humanos são, instintivamente, atraídos pelas cores. Alimentos com cores agradáveis geram sensações sensoriais mais prazerosas e indicam maior qualidade global para os consumidores. Pesquisas indicam que a percepção de qualidade e até mesmo o humor dos indivíduos podem ser influenciados pela cor de produtos, que muitas vezes está associada ao seu cheiro e sabor. Possivelmente, tais constatações levam à ampla aplicação de cores na produção comercial e também caseira de alimentos (ASHFAQ; MASUD, 2002; RODRIGUES, 2015).

A legislação brasileira define corantes como substâncias que conferem, intensificam ou restauram a cor de um alimento (BRASIL, 1997). Os corantes alimentícios são amplamente utilizados com a finalidade de manter a uniformidade do produto, restaurando as possíveis perdas de cor durante o processamento e armazenamento (CUNHA, 2008).

As indústrias costumeiramente utilizam corantes artificiais por serem mais baratos, estáveis e brilhantes do que a maioria dos corantes naturais. No entanto, a crescente preferência dos consumidores por alimentos mais saudáveis tem levado algumas empresas a não adicionarem corantes ou trocá-los por corantes naturais, como o betacaroteno (precursor da vitamina A), a páprica, o suco de beterraba e a cúrcuma (KOBYLEWSKI; JACOBSON, 2010).

2.2 CORANTES ARTIFICIAIS E CORANTES NATURAIS

Pigmentos naturais e corantes sintéticos são usados, extensivamente, em vários campos da vida cotidiana, tais como a produção de alimentos, indústrias têxteis e produção de papel. O emprego de corantes em alimentos exige avaliação de sua toxicidade, solubilidade, estabilidade e

reatividade química com os demais componentes do produto. Os corantes alimentícios são divididos em naturais, sintéticos, idênticos aos naturais e inorgânicos. (KAPOR, 2001; CSERHATI, 2006).

Os corantes sintéticos são pigmentos não encontrados na natureza e potentes fontes de poluição ambiental. Tendo em vista que muitos de seus precursores são derivados de produtos petroquímicos, seus usos excessivos ou prolongados conduzem a sérios riscos à saúde e perturbações no ecossistema da natureza (BULUT; AKAR, 2012).

Antes do advento dos pigmentos sintéticos, no final do século XVIII, os pigmentos naturais eram a única fonte de cor disponível e foram amplamente utilizados e comercializados, fornecendo importante fonte de geração de riqueza no mundo todo. Eles foram utilizados para muitas finalidades, tais como a coloração de fibras naturais (lã, algodão, seda), peles e couro. Também foram usados para colorir produtos cosméticos e produzir tintas (CRISTEA; VILAREM, 2006).

Corantes naturais são produzidos por organismos vivos, derivados de flora e fauna. Além disso, têm boa confiabilidade, devido serem não tóxicos, não cancerígenos e biodegradáveis na natureza (VENIL; ZAKARIA; AHMAD, 2013).

O ressurgimento de pesquisas e desenvolvimento na produção de corantes naturais tem ocorrido devido à crescente popularidade do estilo de vida mais salutar baseado em produtos sustentáveis (GRIFONI *et al.*, 2009). A pressão do mercado, provocada por mudanças nas preferências da população, exigiu alterações na legislação e na formulação de alimentos com menos ingredientes artificiais. Assim, o uso de pigmentos naturais tem recebido crescente interesse por fabricantes de alimentos e consumidores, que vem substituindo, gradualmente, os corantes sintéticos (DAWSON, 2008).

Plantas (flores, folhas e frutos), animais (insetos) e micro-organismos (fungos e bactérias) são as principais fontes de obtenção de corantes naturais (MENDONÇA, 2011). A produção de pigmentos a partir de plantas e insetos apresenta alto custo e dependência de condições climáticas. Ao contrário de plantas, os fungos são mais apropriados para esta produção biotecnológica tendo em vista que crescem com uso de técnicas conhecidas de cultura (DURAN *et al.*, 2004).

Os pigmentos microbianos são naturais e melhores substitutos para corantes químicos usados em indústrias e laboratórios (PALANICHAM *et al.*, 2011). A produção de biopigmentos

por micro-organismos é um método promissor pois eles apresentam rápida taxa de crescimento e viabilidade de desenvolvimento de bioprocessos (ZHAO; LU; QIN, 1998). Os micro-organismos produzem grande variedade de pigmentos estáveis (Tabela 1) tais como carotenoides, flavonoides, quinonas e rubraminas (DURÁN *et al.*, 2002).

Tabela 1 - Principais biopigmentos utilizados como corantes alimentares naturais.

Pigmento	Micro-organismo	Referência
Ankaflavina	<i>Monascus</i> sp.	Blanc <i>et al.</i> (1994)
Riboflavina	<i>Ashbya gossypi</i>	Santos <i>et al.</i> (2005)
Rubropunctatina	<i>Monascus</i> sp.	Blanc <i>et al.</i> (1994)
Betacaroteno	<i>Neurospora crassa</i>	Hausmann e Sandmann (2000)
Melanina	<i>Saccharomyces neoformans</i> var. <i>nigricans</i>	Vinarov <i>et al.</i> (2003)
Monascorubina	<i>Monascus</i> sp.	Blanc <i>et al.</i> (1994)
Zeaxantina	<i>Flavobacterium</i> sp.	Shepherd <i>et al.</i> (1976)

Pigmentos microbianos são vantajosos, em termos de produção, quando comparados a pigmentos similares extraídos de vegetais ou animais. O desenvolvimento de vegetais superiores ou organismos animais é mais lento do que o de micro-organismos e algas, portanto, a produção de pigmentos envolvendo micro-organismos, cuja velocidade de crescimento é relativamente alta, confere produtividade para os processos e os tornam industrialmente competitivos (BABITHA, 2009).

Vários pigmentos naturais aplicados em alimentos, além de conferir cor, podem promover benefícios à saúde, podendo auxiliar no tratamento de doenças. Dentre as substâncias relacionadas à promoção do bem estar e efeitos funcionais nos alimentos destacam-se carmim, cúrcuma e curcumina, clorofilas, betalaínas, pigmentos *Monascus* (VOLP; RENHE; STRINGUETA, 2009).

2.3 PIGMENTOS *Monascus*

O uso de fungos na coloração de gêneros alimentícios não é recente. Pigmentos *Monascus* são, tradicionalmente, utilizados em alimentos, há centenas de anos, em países orientais. Considerando a grande diversidade de pigmentos fúngicos e estabilidade apresentada por micro-organismos do gênero *Monascus*, estes fungos serão, possivelmente, fonte mais provável de pigmentos (MAPARI; THRANE; MEYER, 2010).

O gênero *Monascus* envolve três principais espécies (*Monascus pilosus*, *Monascus purpureus* e *Monascus ruber*), pertencente à família *Monascaceae* e classe *Ascomyceta*, cuja principal característica é a capacidade de produção de metabólitos secundários de estruturas policetonas, alguns com pigmentação amarela, laranja e vermelha (Figura 1). Os fungos *Monascus* são encontrados em muitos ecossistemas, desenvolvem-se em amido e estão presente em muitos alimentos (ISFRAN *et al.*, 2015). Foram, originalmente, utilizados na China e na Tailândia para a preparação de *angkak*, um arroz colorido vermelho escuro, consumido de várias formas, com objetivo de dar cor a produtos como vinho, queijo e carne, uso medicinal e, também, como conservante de carnes, em substituição a nitritos (DUFOSSÉ *et al.*, 2005; MAPARI *et al.*, 2005).

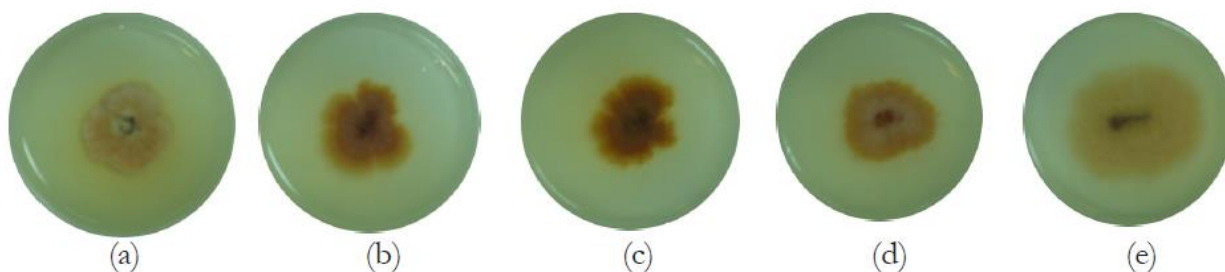


Figura 1 – *Monascus* spp. cultivados em ágar batata dextrose por 10 dias à 30°C, (a) *M. purpureus* ATCC 16365, (b) *M. purpureus* BCC 6131, (c) *M. purpureus* DMKU, (d) *M. purpureus* FTCMU, (e) *M. ruber* TISTR 3006 (PATTAGANUL, 2007).

Monascus sp. são conhecidos por produzirem, pelo menos, seis estruturas moleculares de pigmentos, dependendo da composição e condições do meio, fonte de carbono, e são classificados em três grupos conforme sua cor (Figura 2) (BABITHA; SANDHYA; PANDEY,

2004). Os pigmentos de cor laranja, monascorubrin e rubropunctatin são sintetizados no citosol, a partir da acetilcoenzima A, por meio do complexo multienzimático policetídeo sintase. Estes pigmentos têm a estrutura responsável pela sua alta afinidade a compostos contendo grupos amino primários. As reações com aminoácidos levam a formações de pigmentos vermelhos solúveis, monascorubramine e rubropunctamine. O mecanismo de formações de pigmento amarelo ainda não é claro; alguns autores consideram que este é produto da alteração de pigmentos laranja (CARVALHO *et al.*, 2003).

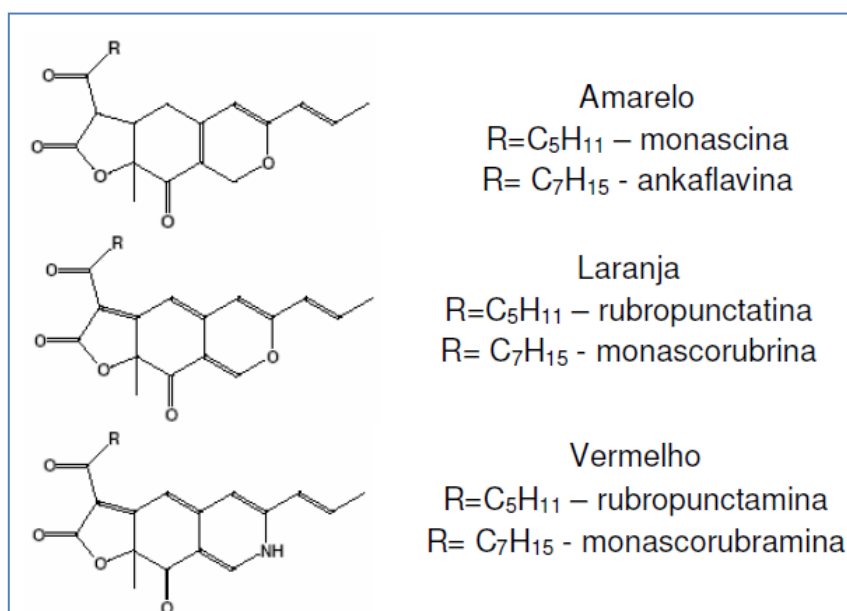


Figura 2. Estrutura dos principais pigmentos produzidos por fungos *Monascus* (HAJJAJ *et al.*, 1999).

Dentre estes pigmentos, o vermelho (monascorubramine e rubropunctamine) apresenta maior valor comercial, devido sua aplicação em alimentos (YOSHIZAKI *et al.*, 2010). O alto interesse biotecnológico deste corante está, também, associado à sua estabilidade ao calor e na faixa de pH de 2 a 10 (MAPARI *et al.*, 2005).

2.4 PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DOS PIGMENTOS *MONASCUS*

Os pigmentos *Monascus* possuem estruturas e propriedades diferentes. Os pigmentos de cor laranja apresentam atividades antibióticas contra bactérias, levedura e fungos filamentosos e inibem o crescimento de *Bacillus subtilis* e *Candida pseudotropicalis*. Pigmentos amarelos, tais como monascina e ankaflavina, têm demonstrado atividade imunossupressora contra esplenócitos T de ratos (MARTINKOVA *et al.*, 1999; LEE; PAN, 2012).

Os *Monascus* sp. são também capazes de sintetizar outros metabólitos com atividade antiolesterolêmica, antibiótica e antitumoral (JUSLOVÁ, 1996). Os produtos comerciais fermentados com espécies *Monascus* sp., como o arroz vermelho, apresentam bom conteúdo de estatinas (ANGARITA *et al.*, 2012), dentre elas a lovastatina.

A lovastatina é uma estatina natural, que serve como precursor de muitas estatinas sintéticas e semissintéticas. Estatinas têm benefícios, além dos seus efeitos de redução do colesterol, também na melhora da função endotelial, estabilização de placas ateroscleróticas ornamentais e na redução dos efeitos do stress oxidativo (HARAMAKI; IKEDA, 2003; KUMAR; SRIVASTAVA; GOMES, 2011).

Doença isquêmica do coração (DIC) é das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo. Um importante fator de risco para DIC são níveis elevados de colesterol da lipoproteína de baixa densidade (LDL), mas mesmo após a redução do colesterol LDL em níveis recomendados, há um considerável risco residual de DIC. O risco residual pode ser explicado pelos níveis elevados de colesterol remanescente (CHAPMAN *et al.*, 2011).

A lovastatina, um específico e potente inibidor da HGM-CoA, é uma potente droga para diminuir os níveis de colesterol no sangue de homens e animais. Esse metabólito fúngico, a princípio, era conhecido como mevinolina, monacolina K e Mevacor®, com capacidade de inibir a HMG-CoA redutase, que é a primeira enzima envolvida na produção do colesterol (ALBERTS, 1988; MANZONI *et al.*, 1998 apud SERAMAN; RAJENDRAN; THANGAVELU, 2010).

A medicina tradicional e fitoterapia chinesa utiliza, ainda, produto de arroz fermentado por *Monascus* para auxiliar a digestão, revigorar o corpo e revitalizar o sangue (ERDOGRULL; AZIRAK, 2004).

Os pigmentos do gênero *Monascus* apresentam várias aplicações em indústrias de alimentos, tais como na produção de linguiça chinesa, macarrões instantâneos e produtos de leite

e também em indústrias de carne substituindo sais nitrito, que são precursores de nitrosaminas (MAPARI, 2005).

Países orientais como Japão fazem uso intensivo desses pigmentos há décadas, como por exemplo, uso do pigmento amarelo hidrossolúvel em balas e vermelho em vinho de arroz (CARVALHO *et al.*, 2005). Além disso, países asiáticos têm usado fungos *Monascus* para produzir queijos de soja e arroz vermelho, *angkak*, há centenas de anos (HAMANO; OROZCO; KILIKIAN, 2005).

A aplicação de pigmentos *Monascus* em salsichas e patês apresentaram bons resultados de coloração e características organolépticas, especialmente para a carne suína, segundo Fabre *et al.* (1993).

Dadas às características dos pigmentos *Monascus*, poder-se-ia aplicá-lo em um produto tornando-o potencialmente funcional. Alimentos funcionais são definidos como qualquer substância ou componente de um alimento que proporciona benefícios para a saúde, inclusive a prevenção e o tratamento de doenças. Esses produtos podem variar de nutrientes isolados, produtos de biotecnologia, suplementos dietéticos, alimentos geneticamente construídos até alimentos processados e derivados de planta (POLLONIO, 2000).

Ressalta-se que, segundo a legislação vigente, para que um produto seja denominado funcional, o alimento deve ter evidências científicas tais como caracterização molecular da composição química, ensaios bioquímicos, clínicos ou nutricionais, estudos epidemiológicos (BRASIL, 2000).

2.5 FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO

A produção de biopigmentos *Monascus* pode ocorrer por fermentação submersa ou fermentação sólida. A fermentação semi-sólida, também chamada de fermentação sólida ou em estado sólido (FES), tem se destacado nos estudos e avanços obtidos no aproveitamento de resíduos agro-industriais. De um modo geral, a FES é um processo microbiano que se desenvolve na superfície de materiais sólidos, que apresentam a propriedade de absorver ou de conter água, com ou sem nutrientes solúveis. Estes materiais sólidos podem ser biodegradáveis ou não. Para a FES, é necessário que os micro-organismos cresçam com nutrientes difusíveis sob ou sobre a interface líquido-sólido (VINIEGRA-GONZALEZ, 1997).

O processo de fermentação de estado sólido é definido como um processo que ocorre ao longo de um material não solúvel, atuando como fonte de nutrientes e suporte, com pequena quantidade de água, sob a ação do agente da fermentação. Esta fermentação caracteriza-se por dois tipos; a saber, aqueles em que as condições para o estado sólido são propiciadas pelo próprio substrato, ou as em que o desenvolvimento do processo dá-se utilizando suporte inerte (COUTO; SANROMÁN, 2005). O substrato deve possuir umidade suficiente para suportar o crescimento e atividade metabólica do micro-organismo (THOMAS; LARROCHE; PANDEY, 2013).

O crescimento de micro-organismos em materiais sólidos úmidos, na natureza, ocorre devido à FES e, acredita-se que esse processo possa ser responsável pelo começo da técnica de fermentação em tempo antigo. Assim, não é surpreendente que, antigamente, quase todos os processos de fermentação fossem baseados nos princípios da fermentação sólida. Além de oferecer oportunidades numerosas no processamento de resíduos agroindustriais, esses processos têm exigências de energia mais baixas, produzem menor quantidade de esgoto e são ambientalmente melhores (PANDEY, 2003).

A fermentação em estado sólido é parecida com o hábitat natural do micro-organismo e por isso é a escolha preferida para seu crescimento, enquanto a fermentação submersa pode ser considerada como violação ao seu hábitat natural, especialmente de fungos (HÖLKER; HÖFER; LENZ, 2004).

A FES apresenta diversas vantagens devido a seus aspectos físico-químicos, especialmente sua reduzida atividade de água e a formação de gradientes de temperatura, nutrientes e produtos. A FES difere-se bastante da FSm (Fermentação Submersa), relativamente à esporulação dos micro-organismos, produção de enzimas e de metabólitos secundários, bem como no modo de mistura e difusão da solução. A heterogeneidade microscópica do substrato, que já fora o ponto fraco da FES, é considerada vantajosa para o acréscimo de rendimento de produtos e por causar adequadas alterações na fisiologia microbiana. É um processo que se favorece do reduzido teor de água, gerando um processo industrial limpo, com baixos níveis de água residual, o que incorre também em economia energética nas operações de *downstream* (VINIEGRA-GONZALEZ, 1997). Subprodutos agro-industriais podem ser utilizados como matéria-prima para FES, o que, além de agregar valor econômico a esses resíduos, também resolve o problema de dispor esse material que se tornaria poluição (NIGAM; PANDEY, 2009).

Este processo tem ganhado credibilidade na indústria de biotecnologia, devido às suas potenciais aplicações na produção de metabólitos secundários biologicamente ativos, além de alimentos, combustíveis, produtos químicos industriais e farmacêuticos, sendo alternativa atraente para a fermentação submersa (SINGHANIA, *et al.*; 2009).

Tradicionalmente em países asiáticos, o arroz é utilizado como substrato para fermentação em estado sólido, dada sua composição. Além do arroz, alguns outros substratos têm sido utilizados tais como pães, aveia, milho e outros cereais, produzindo produtos de fermentação de alta qualidade (PRIATNI *et al.*, 2014).

2.6 FARINHA DE TRIGO E PRODUTOS DE PANIFICAÇÃO

O trigo é um cereal amplamente produzido em todo o mundo e, dele, é extraída a farinha, que é um ingrediente fundamental para elaboração de produtos panificados (SCHEUER *et al.*, 2011).

A farinha mais consumida no Brasil é a farinha de trigo, a maior parte (cerca de 75%) é produzida sob a forma de farinha refinada e, apenas, 5% é destinada à produção de farinha de trigo integral. A farinha de trigo integral é constituída pela moagem do grão inteiro, ou seja, farelo, gérmen e endosperma e seu consumo tem aumentado devido ao apelo de saudabilidade vinculado à produtos integrais (ORO *et al.*, 2013).

A farinha de trigo consiste, principalmente, de amido (70-75%), água (14%) e proteínas (10-12%). A composição das farinhas de trigo não varia muito, entretanto, farinhas para panificação devem apresentar aparência uniforme, livre de odores, cor natural, suave ao tato e livre de sabor de ranço, amargura, acidez, doçura ou mofo. A qualidade de panificação da farinha de trigo é determinada, em grande parte, por suas proteínas, essencialmente as de armazenamento, formadoras de glúten, presentes no endosperma (GOESAERT *et al.*, 2005; MADRID; CENZANO; VICENTE, 1995).

Produtos assados são os alimentos mais largamente consumidos no mundo e, por isso, têm grande potencial como transportes de ingredientes bioativos (KADAM; PRABHASANKAR, 2010). Dentre esses produtos, os pães são costumeiramente enriquecidos pelas indústrias com vitaminas e proteínas, aumentando assim seus valores nutricionais (FITZGERALD *et al.*, 2014). Melhorar a qualidade nutricional de produtos que fazem parte do hábito de consumo da

população é uma importante estratégia para atender aos interesses dos consumidores por produtos com benefícios à saúde (FROTA *et al.*, 2010).

Segundo a legislação brasileira, pão é o produto obtido pela cocção, em condições tecnologicamente adequadas, de uma massa, fermentada ou não, preparada com farinha de trigo e/ou outras farinhas que contenham, naturalmente, proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, podendo conter outros ingredientes. O pão tem sido um dos alimentos básicos mais importantes do ser humano, que é tradicionalmente preparado a partir de farinha de trigo (BRASIL, 2000; PONGJARUVAT *et al.*, 2014). Considera-se que o pão seja muito importante na nutrição global pois é fonte de carboidratos, proteínas, fibras dietéticas, vitaminas, micronutrientes e antioxidantes (RUBEL *et al.*, 2014).

Os ingredientes básicos para produção de pão são farinha de trigo, fermento e água. Entretanto, vários outros ingredientes são, normalmente, acrescentados com a finalidade de conservar, conferir maciez e diferentes sabores. O termo "pão" é genericamente usado, entretanto, existe uma ampla variedade de pães, identificados por suas formas e estruturas, que muitas vezes refletem uso e culturas regionais ou locais (LAMPIGNANO *et al.*, 2013).

O pão, além de fornecer energia (principalmente a partir do amido), fornece fibras e grande variedade de vitaminas e minerais. Ademais, ingredientes opcionais podem ser acrescentados com vistas à melhoria no processamento ou para produção de novo produto com melhor qualidade nutricional ou nutracêutica (SWIECA *et al.*, 2014).

O consumo regular de grãos integrais, que são ricos em fibras dietéticas, vitaminas, minerais e compostos bioativos oferece muitos benefícios à saúde e ajuda a reduzir incidência de várias doenças. Além da redução das taxas de doenças coronárias e de vários tipos de câncer, ajuda a regular o nível de glicose no sangue (SLAVIN *et al.*, 2001).

Segundo a legislação em vigor (BRASIL, 2000), pão integral é aquele preparado com farinha de trigo e farinha de trigo integral. O consumo de grãos integrais, os quais são ricos em fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos, têm sido associado a benefícios à saúde como prevenção doenças cardíacas coronárias, algumas formas de câncer e, também, controle de glicose no sangue (SLAVIN *et al.*, 2001).

A utilização de farinhas mistas com vistas o aumento da qualidade nutricional, redução de custos e até manutenção ou aumento das características tecnológicas de produtos de panificação é uma prática que vem sendo adotada em vários trabalhos (SINGH; MISHRA; MISHRA, 2012).

A oferta de produtos diferenciados ao mercado consumidor pode ser direcionada a segmentos específicos. A segmentação de produtos é uma tendência de mercado que visa atender diferentes necessidades. O público infantil é um importante alvo de mercado devido seu poder de influenciar a aquisição pelos pais (SILVA; RABELO, 2005). Em economias capitalistas, crianças têm grande autonomia para consumidor, especialmente na escolha de lanches escolares. Para crianças, produtos com sabores e cores mais atrativos possuem maior influência na decisão de compra do que estímulos ambientais tais como publicidade e promoções (NETO; MELO, 2013).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho foi obter pigmento vermelho, a partir de fermentação em estado sólido de grão de trigo, pelo fungo *Monascus ruber*, e aplicá-lo, sob a forma de farinha modificada, na elaboração de pães de forma.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fermentar grãos de trigo pelo *Monascus ruber* CCT 3802, via fermentação em estado sólido;
- Obter farinhas modificadas, a partir do trigo fermentado pelo *Monascus ruber* CCT 3802, e determinar suas características físico-químicas e tecnológicas;
- Produzir pães de forma contendo farinha de trigo fermentado;
- Verificar as indicações tecnológicas para as diferentes amostras de farinha contendo farinha de trigo fermentado;
- Determinar as propriedades físico-químicas e tecnológicas dos pães;
- Analisar o perfil de textura (TPA) das crostas e dos miolos dos pães;
- Determinar as características dos alvéolos dos pães;

REFERÊNCIAS

ALBERTS, A. W. Discovery, biochemistry and biology of lovastatin. **American Journal of Cardiology**, Dallas, v. 62, p. 10–15, 1988.

ANGARITA, C. C.; RAMIREZ, I. J. N.; ATEHORTÚA, L.; SEPÚLVEDA, L. J. Las estatinas: actividad biológica y producción biotecnológica. **Revista Colombiana de Biotecnología**, Bogotá, v. 14, p. 157-178, 2012.

ASHFAQ, N.; MASUD, T. Surveillance on artificial colours in different ready to eat foods. **Pakistan Journal of Nutrition**, Faisalabad, v. 1, n. 5, 2002.

BABITHA, S.; SANDHYA, C.; PANDEY, A. Natural food colorants. **Applied Botany Abstracts**, Cornell, v. 23, p. 258–266, 2004.

BABITHA, S. Microbial pigments. **Biotechnology for agro-industrial residues utilisation**, Nova Deli, v. 1, p. 147-162, 2009.

BLANC, P. J.; LORET, M. O.; SANTERRE, A. L.; PAREILLEUX, A.; PROMÉ, D.; PROMÉ, J. C.; LAUSSAC, J. P.; GOMA, G. Pigments of *monascus*. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 59, p. 862-865, 1994.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997**. Aprovar o Regulamento Técnico: Aditivos alimentares - definições, classificação e emprego. Brasília, DF: SVS/MS, 1997. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/home>>. Acesso em: 20 junho 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria RDC nº 90 de 18 de outubro de 2000**. Aprova o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade do pão. Brasília, DF: ANVISA, 2000. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/2000/90_00rdc.htm>. Acesso em 12 abril 2016.

BÜHLER, R. M. M. **Produção de pigmentos por *Monascus ruber* utilizando co-produtos da produção do biodiesel**. 2013. 182f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

BULUT, M. O.; AKAR, E. Ecological dyeing with some plant pulps on woolen yarn and cationized cotton fabric. **Journal of Cleaner Production**, Knoxville, v. 32, p. 1-9, 2012.

CARVALHO, J. C., PANDEY, A., BABITHA, S., SOCCOL, C. R., 2003. Production of *Monascus* biopigments: An Overview. **Agro Food Industry Hi-tech**, Milão, v. 14, p. 37–42. 2003.

CARVALHO, J. C.; OISHI, B. O.; PANDEY, A. SOCCOL, C. R. Biopigments from *Monascus*: strains selection, citrinin production and color stability. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 48, p. 885-894, 2005.

CARVALHO, J. C.; SOCCOL, C. R.; PANDEY, A.; BABITHA, S.; WOICIECHOWSKI, A. L. Production of pigments by SSF. **Current Developments in Solid State Fermentation, In-Current Developments in Solid State Fermentation**, Nova Deli. p. 335–353. 2007.

CAUVAIN, S.; YOUNG, L. **Tecnologia da Panificação**, São Paulo, 2ª ed., p.418. 2009.

CRISTEA, D.; VILAREM, G. Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn. **Dyes Pigments**, Huddersfield, v. 70, p. 238–245, 2006.

CHAPMAN, M. J.; GINSBERG, H. N.; AMARENCO, P.; ANDREOTTI, F., BOREN, J., CATAPANO, A. L. Triglyceride-rich lipoproteins and high-density lipoprotein cholesterol in patients at high risk of cardiovascular disease: Evidence and guidance for management. **European Heart Journal**, London, v. 32, p. 1345–1361, 2011.

CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. Corantes alimentícios. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 203-220, 2002.

COUTO, S. R.; SANROMÁN, M. A. Application of solid-state fermentation to food industry – A review. **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 76, p. 291-302, 2005.

CSEHATI, T. Liquid chromatography of natural pigments and synthetic dyes. **Journal of Chromatography Library**, Dallas, v. 71, 2006, 602p.

CUNHA, F. G. **Estudo da extração mecânica de bixina das sementes de urucum em leito de jorro**. 2008. 92f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

DAWSON, T. L. It must be green: meeting society's environmental concerns. **Coloration Technology**, Hoboken, v. 124, p. 67-78, 2008.

DUFOSSE L.; GALAUP, P.; YARON, A.; ARAD, S. M.; BLANC, P.; MURTHY, K. N. C.; RAVISHANKAR, G. A. Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: a scientific oddity or an industrial reality? **Trends in Food Science & Technology**, Colney, v. 16, n. 9, p. 389-406, 2005.

DURÁN, N.; TEIXEIRA, M. F. S.; CONTI, R.; ESPOSITO, E. Ecological-friendly pigments from fungi. **Food Science and Nutrition**, Basingstoke, v. 42, p. 53-66, 2002.

ERDOGRULL, O.; AZIRAK, S. Review of the studies on the red yeast rice (*Monascus purpureus*). **Turkish Eletronic Journal of Biotechnology**, Ancara, v.2, p. 37-49, 2004.

FABRE, C. E.; SANTERRE, A. L.; LORET, M. O.; BABERIAN, R.; PAREILLEUX, A.; GOMA, G.; BLANK, P. J. Production and food application of the red pigments of *Monascus rubber*. **Journal of Food Science**, London, v. 58, n. 5, p. 1099-1102, 1993.

FITZGERALD, C.; GALLAGHER, E.; DORAN, L.; AUTY, M.; PRIETO, J.; HAYES, M. Increasing the health benefits of bread: Assessment of the physical and sensory qualities of bread formulated using a renin inhibitory *Palmaria palmata* protein hydrolysate. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 56, p. 398-405, 2014.

FRANCIS, F. J. Lesser known food colorants. **Food Technology**, Chicago, v. 41, p. 62-68, 1987.

FROTA, K. M. G.; MORGANO, M. A.; SILVA, M. G.; ARAÚJO, M. A. M.; ARAÚJO, R. S. R. M. Utilização da farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na elaboração de produtos de panificação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, p. 44-50, 2010.

GOESAERT, H.; BRUS, K.; VERAVERBEBEKE, W. S.; COURTIN, C. M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat Flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in foods Science & Technology**, Colney, v. 16, n. 1/3, p. 12-30, 2005.

GONZALEZ J. B.; MIRANDA R. U. Biotechnological production and applications of statins. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Oxford, v. 85, p. 869-883, 2010.

GRIFONI, D., BACCI, L., ZIPOLI, G., CARRERAS, G., BARONTI, S., SABATINI, F. Laboratory and outdoor assessment of UV protection offered by flax and hemp fabrics dyed with natural dyes. **Photochemical and Photobiological Sciences**, Padova, v. 85, p. 313-320, 2009.

HAJJAJ, H.; BLANC, P. J.; GROUSSAC, E.; GOMA, G.; URIBELARREA; LOUBIERE, P. Improvement of red pigment/citrinin production ratio as a function of environmental conditions by *Monascus ruber*. **Biotechnology and Bioengineering**, Hoboken, v. 64, p. 497-501, 1999.

HAMANO, P. S.; OROZCO, S. F. B.; KILIKIAN, B. V. Concentration determination of extracellular and intracellular red pigments produced by *Monascus sp.* **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 48, p. 43-49, 2005.

HARAMAKI, N.; IKEDA, H. Statins for heart failure: a potential for new treatment. **Cardiovascular Research**, Oxford, v. 60, p. 217–219, 2003.

HAUSMANN, A.; SANDMANN, G. A single five-step desaturase is involved in the carotenoid biosynthesis pathway to b-carotene and torulene in *Neurospora crassa*. **Fungal Genetics Biology**, Madisson, v. 30, p. 147–153, 2000.

HEJAZI, M. A; WIJFFELS, R. H. Milking of microalgae. **Trends in Food Science & Technology**, Colney, v. 22, p. 189–194, 2004.

HÖLKER, U.; HÖFER, M.; LENZ, J. Biotechnological advantages of laboratory-scale solid-state fermentation with fungi. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 64, p. 175–186, 2004.

ISFRAN, D.; ALTHOFF, J.; MORITZ, D. E.; VENDRUSCOLO, F. Estudo da produção de pigmentos vermelhos por *Monascus ruber* CCT 3802 utilizando cana de açúcar como substrato em fermentação submersa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20, 2014, Florianópolis. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. v.1, n.2, 2015.

JUSLOVÁ, P.; MATÍNKOVÁ, L.; KREN, V. Secondary metabolites of the fungus *Monascus*: a review. **Journal of Industrial Microbiology**, Waukegan, v. 16, p. 163-170, 1996.

KADAM, S. U.; PRABHASANKAR, P. Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. **Food Research International**, Essex, v.43, p. 1975-1980, 2010

KAPOR, M. A.; YAMANAKA, H.; CARNEIRO, P. A.; ZANONI, M. V. B. Eletroanálise de corantes alimentícios: determinação de índigo carmim e tartrazina. **Eclética Química**, São Paulo, v. 26, 2001.

KOBYLEWSKI, S.; JACOBSON, M. F. **Food dyes - A rainbow of risks**. Washington, DC: Center for Science in the Public Interest, 2010. 68p.

KUMAR, S.; SRIVASTAVA, N.; GOMES, J. The effect of lovastatin on oxidative stress and antioxidant enzymes in hydrogen peroxide intoxicated rat. **Food and Chemistry Toxicology**, Andover, v. 49, p. 898–902, 2011.

LAMPIGNANO, V.; LAVERSE, J.; MASTROMATTEO, M.; DEL NOBILE, M. A. Microstructure, textural and sensorial properties durum wheat bread as affected by yeast content. **Food Research International**, Essex, v. 50, p. 369-376, 2013.

LEE, B. H.; PAN, T. M. Benefit of *Monascus*-fermented products for hypertension prevention: a review. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 94, p. 1151-1161, 2012.

LIN, C. F. Isolation and cultural conditions of *Monascus* sp. for the production of pigments in a submerged culture. **Journal Fermentation Technology**, Yonjin, v. 51, p. 407–414, 1973.

MADRID, A.; CENZANO, I.; VICENTE, J. M. Manual de Indústrias dos Alimentos. São Paulo: Livraria Varela, 1995.

MANZONI, M.; ROLLINI, M.; BERGOMI, S.; CAVAZZONI, V. Production and purification of statins from *Aspergillus terreus* strains. **Biotechnology techniques**, Dordrecht, v. 12. p. 529–532. 1998.

MAPARI, S. A. S.; NIELSEN, K. F.; LARSEN, T. O. Exploring fungal biodiversity for the production of water-soluble pigments as potential natural food colorants. **Current Opinion Biotechnololy**, Cambridge, v. 16, p. 231–238, 2005.

MAPARI, S. A. S.; THRANE, U.; MEYER, A. S. Fungal polyketide azaphilone pigments as future natural food colorants? **Trends in Biotechnology**, Cambridge, v. 28, p. 300-307, 2010.

MARTINKOVA, L.; PATAKOVA-JUZLOVA, P.; KREN, V.; KUCEROVA, Z.; HAVLICEK, V.; OLSOVSKY, P.; HOVORKA, O.; RIHOVA, B.; VESELY, D.; VESELA, D.; ULRICHOVA, J.; PRIKRYLOVA, V. Biological activities of oligoketide pigments of *Monascus purpureus*. **Food Additives & Contaminants**, Oxford, v. 16, p. 15–24, 1999.

MENDONÇA, J. N. **Identificação e isolamento de corantes naturais produzidos por actinobactérias**. 2011. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

NETO, A. R. V.; MELO, L. G. N. S. Factors influencing children's food purchasing behavior. **Saúde e sociedade**, São Paulo, p. 121-134, 2013.

NIGAM, P.; PANDEY, A. **Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation**. Springer Science. Netherlands, 2009, 466p.

ORO, T.; LIMBERGER, V. M.; MIRANDA, M. Z.; RICHARDS, N. S. P. DOS S.; GUTKOSKI, L. C.; FRANCISCO, A. Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha refinada usadas na produção de pães. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, 2013.

PALANICHAM, V.; HUNDET, A.; MITRA, B.; REDDY, N. Optimization of cultivation parameters for growth and pigment production by *Streptomyces spp.* isolated from marine sediment and *rhizosphere soil*. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Science**, Ijpaes, v. 1, p. 158-170, 2011.

PANDEY, A. Solid state fermentation - an overview. **Solid State Fermentation**, Nova Deli, v. 13, p. 3–10. 1994.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; MITCHELL, D. New developments in solid state fermentation: I-bioprocess and products. **Process Biochemistry**, Vandoeuvre, v. 35, p. 1153–1169, 2000.

PANDEY, A. Solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, Evanston, v. 13, p. 81-84, 2003.

PATTAGANUL, P. **Effects of *Monascus* strains and their nutrients on the production of adlay angkak**. 2007. 169p. Tese (Doutorado em Filosofia – Ciência e tecnologia de Alimentos) – Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Chiang Mai, Chiang Mai, 2007.

POLLONIO, M. A. R. Alimentos funcionais: as recentes tendências e os aspectos de segurança envolvidos no consumo. **Revista Higiene Alimentar**, Mirandópolis, v. 14, n. 74, p. 26-31, 2000.

PONGJARUVAT, W.; METHACANON, P.; SEETAPAN, N.; FUONGFUCHAT, A.; GAMONPILAS, C. Influence of pregelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten free jasmine rice breads. **Food Hydrocolloid**, Oxford, v. 36, p. 143-150, 2014.

PRIATNI, S.; DAMAYANI, S.; SARASWATY, V.; RATNANINGRUM, D.; SINGGIH, M. The utilization of solid substrates on *Monascus* fermentation for anticholesterol agent production. **Process Chemistry**, Vandoeuvre, v. 9, p. 34-39, 2014.

RODRIGUES, P. S. **Estudo do uso de corantes artificiais em alimentos e estimativa de ingestão de tartrazina pela população brasileira**. 2015, 105f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RUBEL, I. A.; PÉREZ, E. E.; MANRIQUE, G. D.; GENOVESE, D.B. Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality. **Food Structure**, Toronto, v. 3, p. 21-29, 2015.

SANTOS, M. A.; MATEOS, L.; STAHMANN, K. P.; REVUELTA, J.L. **Methods in Biotechnology: Microbial Processes and Products**. New Jersey, 2005. 283p.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M. Z.; LIMBERGER, V. M. Trigo: Características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SERAMAN, S.; RAJENDRAN, A.; THANGAVELU, V. Statistical optimization of anticholesterolemic drug lovastatin production by the red mold *Monascus purpureus*. **Food and Bioproducts Processing**, Christchurch, v. 88, p. 266-276, 2010.

SHAHID, M.; SHAHID-UL-ISLAM; MOHAMMAD, F. Recent advancements in natural dye applications: a review. **Journal of Cleaner Production**, Knoxville, v. 53, p. 310-331, 2013

SHEPHERD, D.; DASEK, J.; SUZANNE, M.; CARELS, C. Production of zeaxanthin. **US patent 3.951.743**, 1976.

SILVA, F. J.; RABELO, A. A. Desenvolvimento de produtos infantis a partir da segmentação do mercado. **Revista Assentamentos Humanos**, Marília, v. 7, n. 1, p. 81-91, 2005.

SINGH, K. P.; MISHRA, A.; MISHRA, H. N. Fuzzy analysis of sensory attributes of bread prepared from milled-based composite flours. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 28, p. 276-282, 2012.

SINGHANIA, R. R.; PATEL, A. K.; SOCCOL, C.R.; PANDEY, A. Recent advances in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, Evanston, v. 44, p. 13–18, 2009.

SLAVIN, J. L., JACOBS, D., MARQUART, L., WIEMER, K. The role of whole grains in disease prevention. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v.101, n. 7, p. 780–785, 2001.

SWIECA, M.; SECZYK, L.; GAWLIK-DZIKI, U.; DZIKI, D. Bread enriched with quinoa leaves – the influence of protein–phenolics interactions on the nutritional and antioxidant quality. **Food Chemistry**, Barking, v. 162, p. 54-62, 2014.

THOMAS, L.; LARROCHE, C.; PANDEY, A. Current developments in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, Evanston, v. 81, p. 146-161, 2013.

TIPLER, P. A. **Física para cientistas e engenheiros** - Volume 2. LTC – livros técnicos e científicos: Rio de Janeiro, 4ª Edição edição, 2000.

VELMURUGAN, P.; KAMALA-KANNAN, S.; BALACHANDAR, V.; LAKSHMANAPERUMALSAMY, P.; CHAE, J. C.; OH, B. T. Natural pigment extraction from five filamentous fungi for industrial applications and dyeing of leather. **Carbohydrates Polymers**, Worcester, v. 79, p. 262–268, 2010.

VENDRUSCOLO, F. **Produção de pigmento vermelho a partir de pigmento laranja produzido por *Monascus ruber* CCT 3802**. 2009. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

VENIL, C. K., ZAKARIA, Z. A., AHMAD, W. A. Bacterial pigments and their applications. **Process Biochemistry**, Vandoeuvre, v. 48, p. 1065 – 1079, 2013.

VINAROV, A.; ROBUCHEVA, Z.; SIDORENKO, T.; DIRINA, E. Microbial biosynthesis and making of pigment melanin. **Communications in agricultural and applied biological science**, Liege, v. 68, p. 325–326, 2003.

VINIEGRA-GONZALEZ, G. Solid state fermentation: definition, characteristics, limitation and monitoring. In: ROUSSOUS, S. *et al.* (Eds.) **Advances in solid-state fermentation**. Dordrecht. Academic Publishers, 1997, p. 5-22.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2009.

YOSHIZAKI, Y.; SUSUKI, T.; TAKAMINE, H.; ITO, K.; SAMESHIMA, Y. **Characterization of glucoamylase and α -amilase from *Monascus anka*: Enhanced production of α -amylase in red koji**. Journal of Bioscience and Bioengineering. v.110, n. 6, p. 670-674, 2010.

ZHAO, D. H.; LU, L.; QIN, H. L. Studies on the properties of a microbial blue pigment. **Food and Fermentation Industries**, Beijing, v. 5, p. 21–24, 1998.

CAPÍTULO II

ARTIGO I - Obtenção de pigmentos *Monascus*, por fermentação em estado sólido do trigo, visando a obtenção de farinhas modificadas e produção de pães de forma.

Aline Bessa Parmigiani Monteiro; Clarissa Damiani; Cibele Rinaldi Moral Gil Prados; Edson Pablo Silva; Maria de Lourdes Rodrigues Silva; Franciello Vendruscolo.

RESUMO – O presente trabalho teve por objetivo obter farinha de trigo modificada contendo pigmento vermelho obtido pela fermentação sólida de grãos trigo, pelo fungo *Monascus ruber*, e produzir pães pela substituição parcial da farinha de trigo branca por farinha de trigo fermentado. Os grãos de trigo foram umidificados, esterilizados em autoclave, inoculados e incubados em estufas a 30 °C, durante 14 dias. Ao final da fermentação os grãos foram desidratados em estufa e moídos, obtendo-se a farinha integral. À farinha branca (controle) foram adicionados 5, 10 e 15% da farinha de trigo fermentado e as misturas foram submetidas às determinações analíticas de cor, morfológica, umidade, pH, cinzas, número de quedas, farinografia e extensografia. Em seguida, foram produzidos pães de forma utilizando somente farinha de trigo branca e pães com substituição de 5, 10 e 15% da farinha branca por farinha fermentada. Os pães foram submetidos à análises de dimensões, volume específico, cor de crosta e miolo, textura de crosta e miolo e análise de imagens. Os resultados demonstram a possibilidade de obtenção do pigmento vermelho a partir da fermentação sólida do trigo pelo *M. ruber*. Todas as amostras apresentaram umidade inferior a 15%. As demais análises demonstraram que farinhas F5%, F10% e F15% apresentaram força média a forte. A farinha F5% foi considerada ideal para fabricação de pães, bolos e massas, já as farinhas F10% e F15% foram ideais para fabricação de biscoitos fermentados, pães, bolos e massas. Além disso, os dados demonstraram que os pães produzidos possuem características tecnológicas satisfatórias, havendo viabilidade, portanto, das suas produções.

1. INTRODUÇÃO

A cor destaca-se dentre os atributos sensoriais e de qualidade de produtos, especialmente,

em alimentos. Tendo em vista que a aparência, é a primeira característica a ser observada, a coloração é um requisito decisivo na escolha de um produto, quer seja natural ou processado (RÊGO *et al*, 2015).

Pigmentos naturais são vantajosos frente aos artificiais comumente utilizados. O alto custo de produção e a baixa estabilidade dos pigmentos naturais contrapõem-se com sua atoxidade e até mesmo efeitos benéficos. Uma alternativa é o uso de processos biotecnológicos para produção de corantes naturais (VOLP; RENHE; STRINGUETA, 2009; PALANICHAM *et al.*, 2011).

Micro-organismos comumente encontrados na natureza tais como fungos, bactérias e leveduras são capazes de produzir pigmentos, dentre eles moléculas de carotenóides, quinonas, flavinas e melaninas (DUFOSSÉ *et al.*, 2014). Bactérias do gênero *Flavobacterium* podem sintetizar zeaxantina e luteína, leveduras do gênero *Rhodotorula* podem sintetizar torulenos, microalgas, conhecidamente, produzem clorofilas e carotenos, e fungos filamentosos produzem pigmentos que exibem ampla faixa de coloração (DUFOSSÉ, 2009).

Os fungos do gênero *Monascus* são divididos nas espécies principais *M. pilosus*, *M. purpureus* e *M. ruber*, que pertencem a classe *Monascaceae* (DUFOSSÉ, 2009). Os fungos *Monascus ruber* são conhecidos por produzir estruturas policetílicas com pigmentação amarela, laranja ou vermelha, em diferentes condições de cultivo (ISFRAN *et al.*, 2015). Os pigmentos *Monascus* são obtidos por processos biotecnológicos e configuram-se como promissores aditivos de cor, a depender do tipo de alimento a ser empregado e das condições de processo (BÜHLER, 2013).

Processos biotecnológicos podem ocorrer sob a forma submersa ou sob a forma sólida. A fermentação em estado sólido (FES) apresenta vantagens tais como alta produção, baixo custo e simplicidade do processo (MIYASHIRA; RODRIGUES; KILIKIAN, 2003). Além disso, fungos filamentosos crescem em baixos teores de umidade por terem alta capacidade de adaptação. A fermentação de substratos sólidos é a melhor opção para produção de metabólitos microbiológicos que são provenientes de fungos, devido a fácil penetração de suas hifas no suporte sólido (PRIATNI *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Os produtos da fermentação por fungos *Monascus* podem ser utilizados para colorir alimentos cárneos, aumentar aroma e sabor de produtos como carnes de suínos, aves e peixes, e também pode ser empregado com a finalidade de conservação de alimentos (BARANOVA *et al.*, 2004). Além disso, produtos de fermentação por *Monascus* são amplamente utilizados em

tratamento e prevenção de doenças tais como osteoporose, câncer, hipercolesterolemia e Alzheimer, devido à presença de lovastatina, que é um dos metabólitos produzidos no processo (PATTANAGUL *et al.*, 2007).

Em países asiáticos, o principal meio sólido utilizado para FES por *Monascus* é o arroz, que resulta em um produto conhecido como *angkak* (CARVALHO *et al.*, 2007). Meios sólidos alternativos tais como mandioca, farelo de arroz e aveia têm sido utilizados como substratos para fermentação (BABITHA; SOCCOL; PANDEY, 2006). As taxas de carbono e nitrogênio da fonte energética influenciam na produção de metabólitos do *Monascus* tais como pigmentos, mevinolina (como também é conhecida a lovastatina) e citrinina. Substratos que supram a necessidade de nutrientes dos fungos, possibilitando sua ótima atividade, são considerados ideais (PATTANAGUL *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2016).

O trigo apresenta composição química que pode ser adequada para produção de biopigmentos, pois, além de ser rico em carboidratos, é também uma boa fonte de nitrogênio. Além disso, o trigo possui um importante papel nutricional na alimentação humana tendo em vista que sua farinha é largamente utilizada na indústria alimentícia (GIECO; DUBKOVSKY; CARMARGO, 2004). Farinha de trigo é definida como um produto obtido pela moagem de grãos de trigo beneficiados, podendo ser acrescida de outros componentes conforme especificado na legislação (BRASIL, 2005).

A utilização de farinhas mistas para o desenvolvimento de produtos de panificação, com vistas o aumento de propriedades tecnológicas e funcionais dos produtos finais, é um ramo em expansão da indústria alimentícia. O uso de farinhas compostas pode trazer problemas técnicos na elaboração destes produtos, tendo em vista mudanças estruturais na massa. Normalmente, em farinhas mistas, são adicionados diferentes teores de outras farinhas à farinha de trigo, para uso em produtos de panificação. O percentual de substituição está relacionado com a quantidade e qualidade das proteínas do trigo para que não haja prejuízo no produto final (EL-DASH; CAMARGO; DIAZ, 1983; PIOVESANA; BUEN; KLAJN, 2013; YAMANI, 2013).

O pão é um dos componentes principais da dieta humana e, por milhares de anos, foi produzido utilizando-se somente o trigo. Dentro de algumas décadas, pesquisadores tem tentado fortificar pães com compostos naturais, cereais integrais e até sementes. A demanda dos consumidores por produtos mais saudáveis tem levado à produção de pães com alto teor de

componentes bioativos ou funcionais (COELHO; SALAS-MELLADO, 2015; KOLETTA *et al.*, 2014).

A introdução de ingredientes na produção de pães pode acrescentar diferentes características sensoriais, nutricionais e até mesmo funcionais, despertando interesse das indústrias de alimentos (BRASIL *et al.*, 2014). Ao longo dos anos, os pães têm sido aperfeiçoados ganhando diferentes formulações, formas e processos, readequando-se a novas culturas e necessidades do mercado alimentício (CANELA-RAWLS, 2012).

O objetivo deste trabalho foi produzir farinhas de trigo modificadas contendo pigmento vermelho obtido pela fermentação em estado sólido de trigo pelo fungo *Monascus ruber* e aplicá-las na produção de pães de forma.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nos laboratórios do Setor de Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, com exceção das análises de farinografia e extensografia das amostras de farinha de trigo, que foram realizadas no laboratório de controle de qualidade da indústria Pastifício Araguaia Ltda (Goiânia, GO).

2.1. MICRO-ORGANISMO E PREPARO DO INÓCULO

O fungo utilizado para fermentação do trigo, *Monascus ruber* CCT 3802, foi cedido pela Coleção de Culturas Tropicais da Fundação André Tosello (Campinas, SP). O *M. ruber* foi mantido em tubos de ensaio com ágar batata dextrose (PDA), à 4 °C. O ágar foi preparado conforme as instruções do fabricante, adicionando-se 39g de meio para cada litro de água. O material dos tubos de ensaio foi utilizado para inocular garrafas de Roux, também contendo ágar PDA, que foram incubadas à 30 °C, por 10 dias. Após o período de incubação, os esporos foram raspados e, após filtrados em gaze estéril, constituíram a solução de esporos que foi utilizada para inoculação do trigo (VENDRUSCOLO, 2009).

2.2. FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO

2.2.1. Teste de umidificação do trigo

O trigo e farinha de trigo utilizados neste trabalho (*Triticum aestivum*) foi doado pela empresa Pastifício Araguaia Ltda (Goiânia, GO) e encontrava-se limpo e sem casca. Testes preliminares a este ensaio identificaram que teores de água inferiores a 40% nos grãos não promovem a produção de pigmento pelo fungo. Dessa forma, os grãos de trigo foram submetidos a teste de enxarcamento, a fim de se verificar a absorção de água pelo grão conforme a passagem do tempo. Em um recipiente plástico, foram colocados 200g de peso seco de trigo e água potável em excesso. A cada hora, o trigo foi retirado da água, escorrido, enxugado com papel toalha e pesado, até que o peso se manteve constante.

2.2.2. Preparo do meio de cultivo

Os grãos de trigo, doados pela empresa Pastifício Araguaia Ltda (Goiânia-GO) foram umidificados por 24 horas e, posteriormente esterilizados em frascos de *Erlenmeyers*. Após o resfriamento, as amostras foram inoculadas com 5 mL da solução de esporos para cada 100 g de trigo seco. O material foi incubado a 30 °C, por 14 dias. A fermentação foi fotografada diariamente.

2.3. OBTENÇÃO DA FARINHA DE TRIGO FERMENTADO

Ao final da fermentação, o trigo foi seco em estufa com circulação forçada de ar até umidade aproximada de 12,5%. O trigo seco foi moído em moinho de facas, obtendo-se a farinha integral fermentada e pigmentada. Foram preparadas misturas com diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado, 5% (F5%), 10% (F10%), 15% (F15%) e 100% (F100%), e farinha branca (FC), que foi doada pela empresa Pastifício Araguaia Ltda, sediada em Goiânia-GO.

2.4. QUANTIFICAÇÃO DOS PIGMENTOS

Os pigmentos presentes na farinha de trigo fermentado foram extraídos, segundo a metodologia proposta por Carvalho (2004), utilizando etanol 95%, na proporção de 5 mL de etanol para cada grama de material fermentado. Após 12 horas de extração, a solução foi filtrada e a quantificação dos pigmentos foi feita em espectrofotômetro a 480 nm. Uma unidade de absorbância foi convertida em 15 mg de pigmento vermelho por litro de solução (HAJJAJ *et al.*, 1999).

2.5. DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS DAS FARINHAS BRANCA E DAS MISTURAS

Todas as determinações foram feitas em triplicata.

2.5.1. Análise de cor

Os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , croma (C^*) e hue (H°) das farinhas de trigo foram determinados segundo Blandino *et al.* (2013), em colorímetro ColorQuest II (Hunter-Lab, Virgínia, EUA) no modo refletância.

2.5.2. Análise morfológica

As microestruturas das farinhas foram visualizadas, segundo metodologia proposta por Bárcenas, Fortoul e Rosell (2010), por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV, Jeol, JSM - 6610). As amostras foram alocadas em *stubs* de alumínio, banhados com filme de ouro, utilizando fita dupla face, e foram examinadas com voltagem de aceleração de 5 kV, em aumentos de 50, 500, 1000 e 1500 vezes.

2.5.3. Análises químicas

A umidade foi determinada, segundo AOAC (2012), por secagem em estufa à 105 °C até obtenção de massa constante.

O pH foi mensurado, pelo método potenciométrico modelo TEC02 (Tecnal, Brasil), conforme AOAC (2012). Dessa forma, 10 g das farinhas de trigo foram pesadas em béquer e

adicionadas de 100 mL de água destilada. Após agitação, o pH foi determinado pela leitura direta em potenciômetro.

O teor de cinzas foi determinado segundo metodologia proposta por AOAC (2012). Cerca de 3 g de amostra foram carbonizadas e colocadas na mufla digital modelo SP-1200 (SP Labor, Brasil) por 5 h, a 550 °C. Após o resfriamento, as amostras foram pesadas, levadas à mufla por mais 1 h e novamente pesadas.

O número de quedas ou *Falling Number* foi obtido conforme metodologia proposta por AACC (2008), que é baseado na medida da capacidade da enzima α -amilase em liquefazer um gel de amido. O valor corresponde ao tempo, em segundos, requerido para permitir a queda do agitador do equipamento *Falling Number* modelo FN 1500 (Perten, Sweden) até uma distância fixa, sob um gel aquoso das farinhas, a uma temperatura de 100 °C.

2.5.4. Análises das propriedades tecnológicas

As propriedades tecnológicas foram determinadas conforme metodologia proposta por AACC (2008).

Na farinografia foram determinados os parâmetros de absorção de água (ABS), estabilidade (EST), tempo de desenvolvimento da massa (TDM) e índice de tolerância à mistura (ITM). Utilizou-se o Farinógrafo modelo -E (Brabender, Germany). Para a determinação foram pesados 300 g de farinha e colocados na masseira do farinógrafo. Adicionou-se água até a capacidade de absorção da farinha, verificada visualmente pela consistência da massa. Os gráficos gerados pelo equipamento possibilitaram a determinação dos parâmetros farinográficos.

A análise de extensografia mensurou os parâmetros de energia (A), resistência à extensão, resistência máxima, extensibilidade e número proporcional. Utilizou-se Extensógrafo modelo -E (Brabender, Germany). Foram pesados 300 g de farinha e previamente preparados no farinógrafo, adicionando-se 53 mL de solução composta de água e cloreto de sódio 11%. Na sequência, 150 g de massa foram boleadas e modeladas, e colocadas na cabine de fermentação, no próprio extensógrafo. Após o período de 45 min, a massa foi submetida à extensão até seu rompimento. Os gráficos gerados pelo equipamento possibilitaram a determinação dos parâmetros extensográficos.

As análises foram feitas em triplicata. A representação esquemática de farinografia e extensografia e seus principais parâmetros estão apresentados nas figuras 3 e 4.

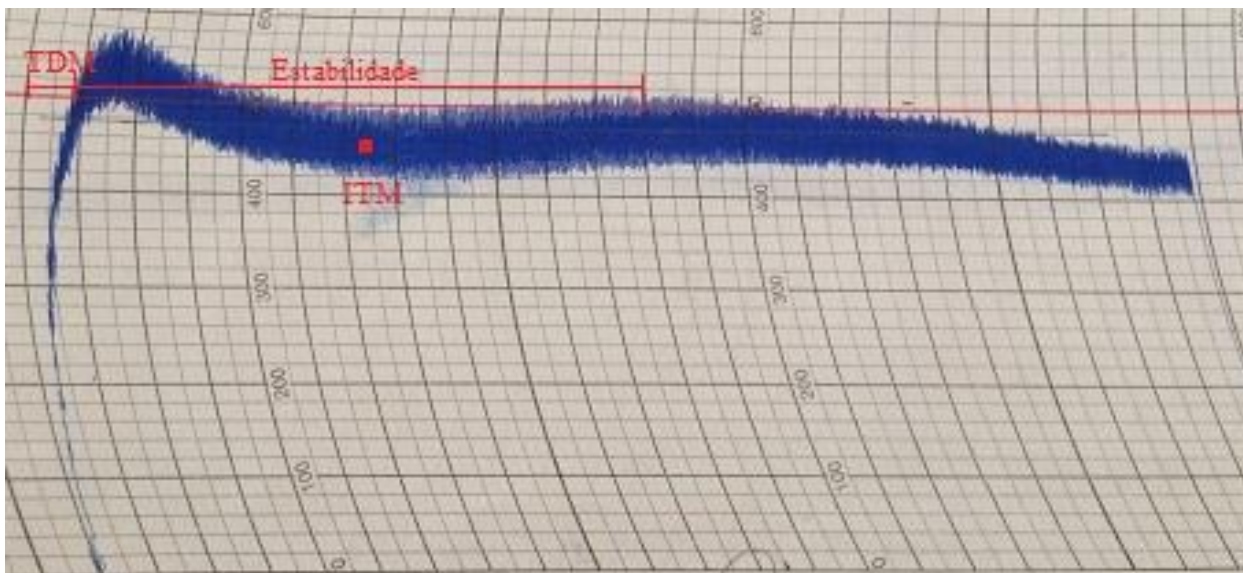


Figura 3 - Representação esquemática do farinograma com os parâmetros de TDM (Tempo de desenvolvimento da massa), Estabilidade e ITM (Índice de tolerância à mistura).

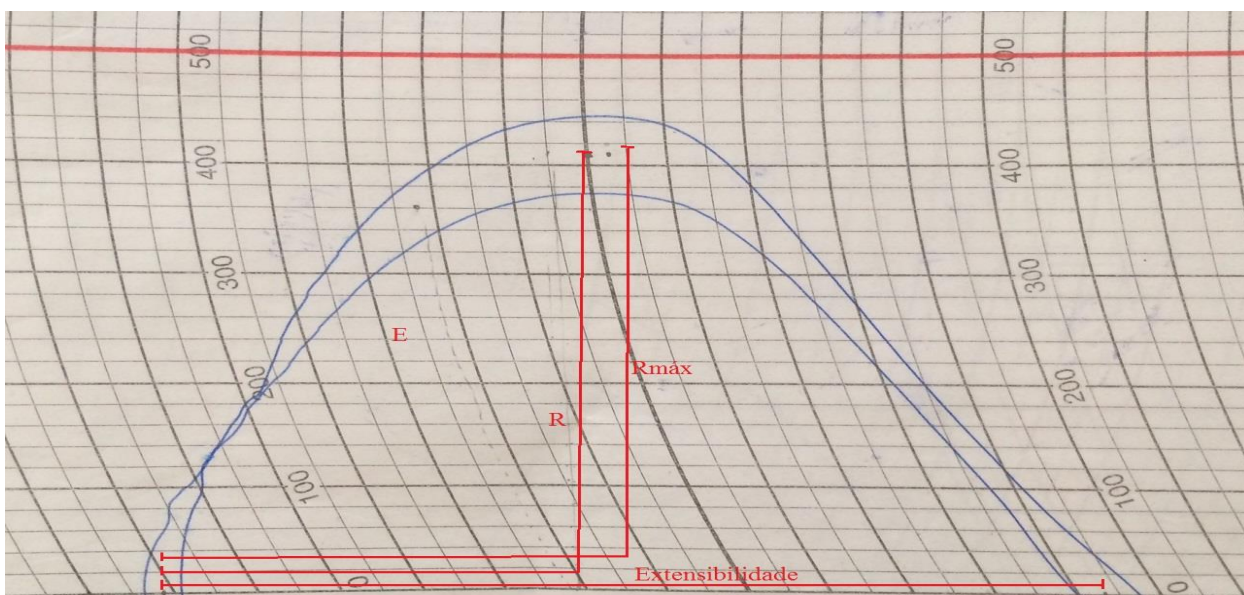


Figura 4 - Representação esquemática do extensograma com os parâmetros de E (Energia), R (Resistência à extensão), $R_{máx}$ (Resistência máxima) e Extensibilidade.

2.6 ELABORAÇÃO DOS PÃES

A amostra controle foi produzida utilizando formulação definida a partir de testes preliminares (resultados não apresentados) e os demais tratamentos foram feitos substituindo a farinha de trigo convencional por farinha de trigo fermentado e pigmentado em diferentes percentuais. Os pães controle foram denominados “PC”, os demais foram denominados conforme a farinha utilizada na substituição, “P5%”, “P10%” e “P15%”. A Tabela 2 demonstra a formulação das amostras.

Tabela 2 - Formulação das amostras de pães de forma com substituição parcial de farinha de trigo branca por farinha de trigo fermentado e pigmentado.

Ingrediente ¹	PC	P5%	P10%	P15%
Farinha de trigo (g)	350,0	322,5	315,0	297,5
Farinha de trigo fermentado (g)	-	17,5	35,0	52,5
Fermento biológico (g)	7,0	7,0	7,0	7,0
Sal (g)	7,0	7,0	7,0	7,0
Açúcar (g)	17,5	17,5	17,5	17,5
Gordura (g)	10,5	10,5	10,5	10,5
Melhorador de farinha (g)	1,1	1,1	1,1	1,1
Leite em pó (g)	8,4	8,4	8,4	8,4
Água (g)	175,0	175,0	175,0	175,0

¹Farinha de trigo branca (marca Emegê); Fermento biológico *Saccharomyces cerevisiae* (marca Fleischmann); Sal cloreto de sódio (marca Cisne); Açúcar sacarose cristalizada (marca Cristal); Gordura vegetal, tipo margarina (marca Delícia); Melhorador de farinha de ácido ascórbico e alfa-amilase (marca Nita); Leite em pó (marca Italac).

O processo utilizado na produção de pães foi o método convencional de massa direta adaptado, conforme segue a descrição.

Os ingredientes foram pesados, misturados e amassados por 10 minutos, manualmente. Na sequência, a massa foi cortada em pedaços de 70 g e boleada, adquirindo forma arredondada e superfície lisa. As massas foram deixadas em descanso por 10 minutos, à temperatura ambiente, a fim de permitir o relaxamento e rearranjo da rede de glúten.

As massas foram moldadas em formato de pão de forma e colocadas em forma (C = 110 mm, L = 40 mm, h = 45mm), previamente untada. Os pães foram submetidos à fermentação por um período de 2 horas em temperatura ambiente, sendo forneados à 200 °C por 25 minutos em forno a gás modelo OG8MX (Electrolux, Brasil), pré-aquecido. Após forneamento, os pães foram arrefecidos em temperatura ambiente, colocados em sacos de polietileno de baixa densidade e codificados para início das análises.

Os tratamentos foram feitos em triplicata. A figura 5 representa o fluxograma de produção dos pães.

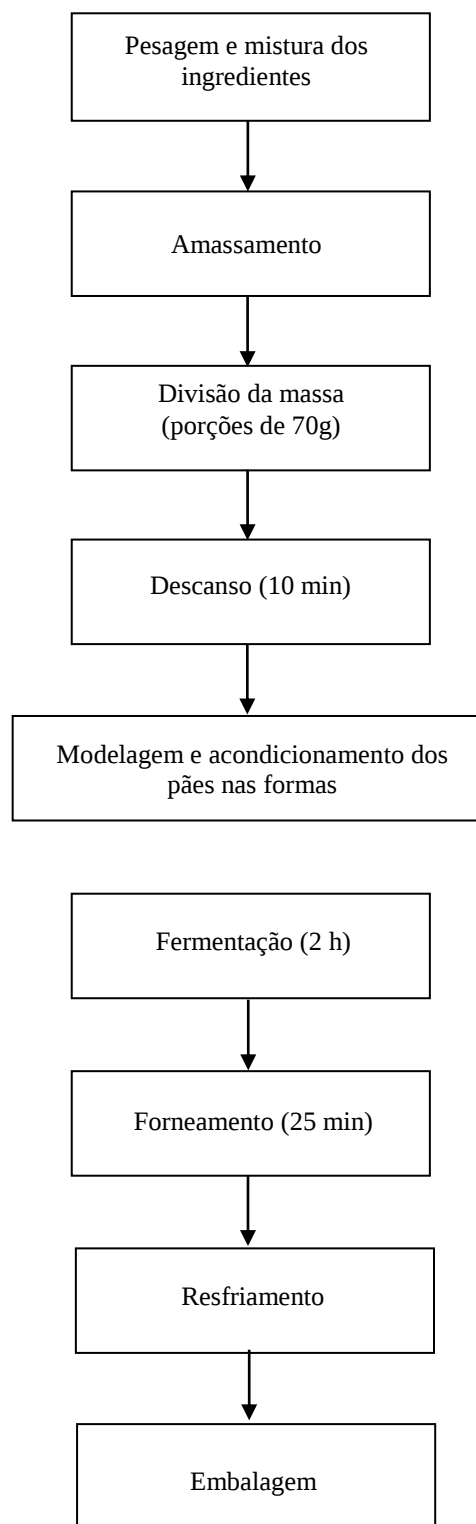


Figura 5 - Fluxograma de produção dos pães.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DOS PÃES

Todas as análises foram feitas em triplicata.

2.7.1 Dimensões

As dimensões dos pães, comprimento, altura e largura foram medidas, utilizando paquímetro digital (Lee Tools, 684132), e os resultados expressos em mm.

2.7.2 Volume específico

O volume específico dos pães foi determinado pelo método de deslocamento de painço (AACC 10-05, 2008), calculando-se o resultado pela razão entre o volume (cm³) e a massa (g).

2.7.3 Cor da crosta

As características cromáticas da crosta e do miolo do pão foram determinadas, segundo Blandino *et al.* (2013), utilizando colorímetro ColorQuest II (Hunter-Lab, Virgínia, EUA) no modo refletância, previamente calibrado. Os valores de cor de L*, a* e b*, croma e ângulo Hue foram determinados diretamente pelo instrumento em conformidade com a *Comissão Internacional de L'Eclairage*. Para determinação da cor da crosta, o centro do pão foi colocado no feixe de luz. Foram feitas três leituras para cada repetição, de cada tratamento.

2.7.4 Cor do miolo

A cor do miolo foi, também, determinada conforme Blandino *et al.* (2013), no colorímetro ColorQuest II (Hunter-Lab, Virgínia, EUA). Para determinação da cor do miolo, foi retirada uma fatia na parte central do pão e a leitura foi feita no centro da fatia. Foram feitas três leituras para cada repetição de cada tratamento.

2.7.5 Análise de imagem dos pães

Os alvéolos foram analisados, por meio da digitalização das fatias, cortadas longitudinalmente, com 25 mm de espessura, em scanner HP PSC 2355 (HP, Brasil). As imagens capturadas foram convertidas em formato RGB, escala de cinza (0 – 250), e analisadas pelo *software* ImageJ (National Institutes Health, EUA), segundo Yamani (2013) com adaptações.

Foram avaliadas quatro regiões de cada fatia (600 x 600 pixels), em triplicata. Os parâmetros mensurados foram os seguintes: número, área total e tamanho médio dos alvéolos.

A metodologia utilizada está representada na Figura 6.

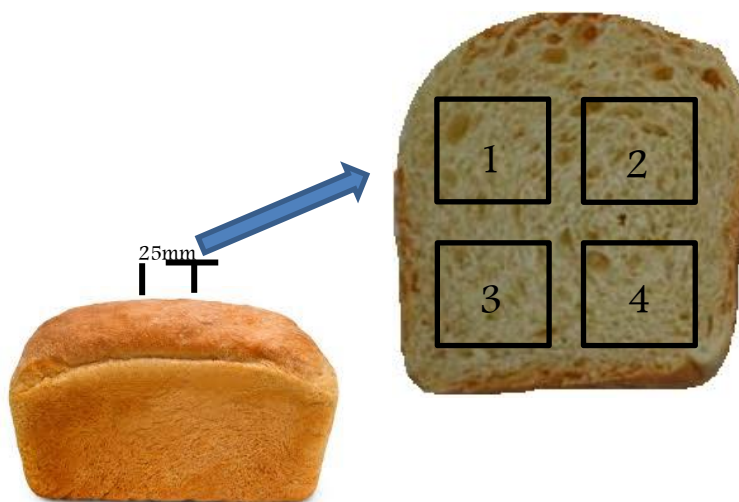


Figura 6 - Demonstração da fatia central retirada dos pães de forma e os quatro diferentes quadrantes das imagens que foram capturados para análise da estrutura alveolar.

2.7.6 Textura da crosta e miolo dos pães

A análise do perfil de textura (TPA) dos pães foi feita segundo Wang, Rosell e Barber (2002), com adaptações. O equipamento utilizado foi texturômetro modelo TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), equipado com probe cilíndrico de 20mm de diâmetro. Foram determinados os parâmetros de firmeza (F), coesividade (C), elasticidade (E), mastigabilidade (M) e fracturabilidade (Fr), pela análise da curva que relaciona força e tempo, dada pelo *software* do equipamento.

A análise instrumental de textura foi realizada sob as seguintes condições: velocidade pré-teste, teste e pós-teste de 1,0 mm/s, 1,7 mm/s e 10 mm/s; distância de 20 mm; temperatura entre 20-25 °C.

Para textura da crosta, cada pão foi colocado inteiro na parte central do equipamento, cerca de 1 h após ter sido retirado do forno. A parte central da crosta dos pães foi comprimida até deformação de 40% do centro do pão. Foram feitas 3 repetições de cada tratamento e cada repetição foi feita em triplicata.

Para análise do perfil de textura do miolo, foram utilizadas as duas fatias centrais dos pães, com espessura de 25 mm cada, cerca de 1 h após ter sido retirado do forno. A parte central das fatias foi comprimida pelo texturômetro até deformação de 40% da fatia. Foram feitas 3 repetições de cada tratamento e cada repetição foi feita em triplicata.

2.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos nas análises das diferentes farinhas e das diferentes amostras de pães foram avaliados de acordo com o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), sendo que os tratamentos consistiram nas substituições em porcentagem de farinha branca por farinha fermentada (5%, 10%, 15% e 100%). Os dados foram submetidos à análise de variância univariada (ANOVA) e as médias obtidas para cada tratamento foram submetidas ao teste de Tukey, utilizando o *software* Statistica versão 5.0, a um nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de enxarcamento do trigo demonstrou que, após 20 horas de umidificação, a umidade dos grãos apresentou uma tendência a permanecer constante, atingindo umidade aproximada de 43%. Testes preliminares a este estudo (resultados não apresentados) demonstraram que grãos de trigo com umidades inferiores a 40% não produziram, satisfatoriamente, pigmentos vermelhos. A figura 7 demonstra o comportamento da absorção de água pelos grãos de trigo.

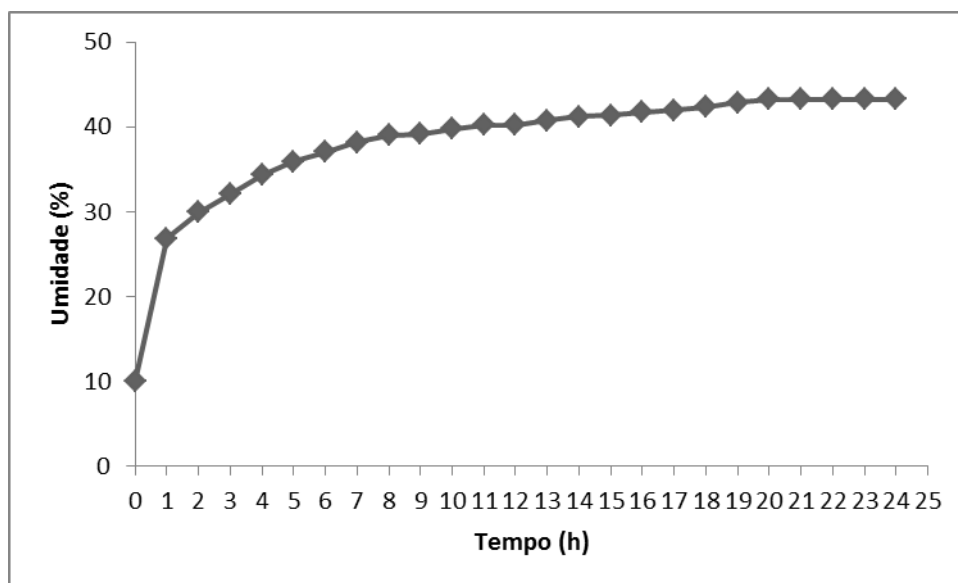


Figura 7 – Comportamento da absorção de água pelos grãos de trigo (*Triticum aestivum*), mensurados de hora em hora, durante o teste de enxarcamento, realizado na cidade de Goiânia em 2015.

Os pigmentos extraídos da farinha apresentaram 2,88 UDO₄₈₀, correspondendo a 16,64 mg de pigmento por grama de farinha fermentada seca, semelhante aos produzidos por outros autores com outras fontes energéticas. Visualmente, os pigmentos foram produzidos a partir do 8º dia. Os resultados da análise física das farinhas de trigo estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Análise de das amostras de farinha de trigo branca e das misturas contendo farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*.

Amostras ¹	Parâmetros de cor ²				
	L*	a*	b*	C*	H°
FC	93,19 ± 0,03 ^a	0,06 ± 0,02 ^e	9,17 ± 0,04 ^b	9,17 ± 0,03 ^b	1,56 ± 0,001 ^a
F5%	87,35 ± 0,47 ^b	1,82 ± 0,09 ^d	6,70 ± 0,12 ^c	6,94 ± 0,10 ^c	1,31 ± 0,016 ^b
F10%	84,64 ± 0,85 ^c	2,43 ± 0,17 ^c	6,06 ± 0,33 ^d	6,53 ± 0,35 ^c	1,18 ± 0,016 ^c
F15%	83,38 ± 0,33 ^d	3,09 ± 0,12 ^b	6,07 ± 0,04 ^d	6,81 ± 0,09 ^c	1,10 ± 0,012 ^d
F100%	52,29 ± 0,10 ^e	11,43 ± 0,01 ^a	10,22 ± 0,04 ^a	15,33 ± 0,02 ^a	0,73 ± 0,001 ^e

¹FC: Farinha controle composta somente de farinha branca; F5%: Mistura entre farinha branca e 5% de farinha fermentada; F10%: Mistura entre farinha branca e 10% de farinha fermentada; F15%: Mistura de farinha branca e 15% de farinha fermentada; F100%: Farinha fermentada. ²Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey (p<0,05); L*: Luminosidade; a*: coordenada vermelho/verde; b*: coordenada amarelo/azul.

Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* , variaram entre, respectivamente, $52,29 \pm 0,10$ e $93,19 \pm 0,03$, $0,06 \pm 0,02$ e $11,43 \pm 0,01$ e $6,06 \pm 0,33$ e $10,22 \pm 0,04$. Conforme esperado, a amostra F100% apresentou menor valor de L^* e maiores valores de a^* e b^* , isso porque apresenta maior concentração do pigmento *Monascus*, que tem coloração vermelha. A amostra FC, composta apenas de farinha branca, apresentou o maior valor de L^* , por ser a amostra mais clara, e menor valor de a^* por não conter pigmento vermelho algum. Além disso, segundo El-Dash (1982), farinhas com altos teores de cinzas possuem, normalmente, coloração mais escura por conter, presumidamente, mais partículas de farelo.

Apesar de a cor característica de farinhas de trigo ser branca, com leves tons amarelados, marrons ou cinza, (BRASIL, 2005), alterações de cor provenientes da adição de ingredientes tais como farelo, fibras ou outras farinhas, com objetivo de aumentar a qualidade nutricional, essa alteração passa ser aceitável pelos consumidores (VERNAZA; GULARTE; CHANG, 2011).

Os resultados das análises químicas estão apresentados na Tabela 4.

Todas as amostras apresentaram umidades menores que 15%, que é o limite máximo para umidade de farinha permitida pela legislação brasileira (BRASIL, 2005). Esta informação é de grande importância no que tange à conservação da qualidade das farinhas produzidas durante a estocagem comercial, isso porque a umidade é um dos principais fatores de aceleração de reações químicas (FARONI *et al.*, 2007), crescimento de agentes deteriorantes e propício para formação de grumos, o que dificulta sua utilização e transporte (BORGES, 2009). Além disso, a conservação das amostras possibilitou a realização das análises e a continuidade do trabalho.

Os valores de pH encontrados para as amostras de farinha variaram de $5,50 \pm 0,01$ a $6,26 \pm 0,01$, assim todas amostras apresentaram pH ácido. Com exceção da amostra FC, as demais amostras apresentaram valores compreendidos na faixa ideal para farinhas, entre 6,0 a 6,8. O incremento de farinha de trigo fermentado e pigmentado nas misturas promoveu aumento do pH com relação a FC. Os valores encontrados podem influenciar na qualidade e durabilidade, tendo em vista que a acidez dos produtos os tornam, naturalmente, mais estáveis à deterioração (COUTO, 2007).

O conteúdo de cinzas foi menor para FC (0,63%) e maior para F100% (2,61%). Segundo a classificação de farinhas pelo teor de cinzas (BRASIL, 2005), a amostra FC é farinha tipo 1, as amostras F5%, F10% e F15% são farinhas tipo 2 e a F100%, farinha integral. O alto teor de cinzas em farinha de trigo não é desejável por interferir na rede de glúten, na cocção e também na

coloração dos produtos finais, além disso, pode indicar inclusão do farelo durante a extração (LIMA; MEDINA; FANAN, 2006), que foi o ocorrido. Outro fator a ser considerado é que os minerais concentram-se nas camadas mais externas dos grãos, assim o teor de cinzas aumentou com o incremento da farinha de trigo fermentado e pigmentado, que foi obtida pela moagem completa do grão de trigo.

Tabela 4 - Resultados das análises químicas das farinhas de trigo branca e das misturas contendo farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*.

Amostras ¹	Análises químicas ²			
	Umidade (%)	pH	Cinzas (%)	Número de quedas (seg)
FC	12,60 ± 0,09 ^a	5,50 ± 0,01 ^c	0,63 ± 0,07 ^d	400 ± 12,0 ^a
F5%	12,65 ± 0,44 ^a	6,06 ± 0,05 ^b	0,84 ± 0,08 ^{cd}	361 ± 8,5 ^b
F10%	12,56 ± 0,12 ^a	6,02 ± 0,05 ^b	0,88 ± 0,02 ^c	349 ± 4,9 ^{bc}
F15%	12,29 ± 0,14 ^a	6,10 ± 0,01 ^b	1,38 ± 0,11 ^b	337 ± 2,5 ^c
F100%	13,50 ± 0,45 ^b	6,26 ± 0,01 ^a	2,61 ± 0,01 ^a	-

¹FC: Farinha controle composta somente de farinha branca; F5%: Mistura entre farinha branca e 5% de farinha fermentada; F10%: Mistura entre farinha branca e 10% de farinha fermentada; F15%: Mistura de farinha branca e 15% de farinha fermentada; F100%: Farinha fermentada. ²Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey (p<0,05).

Os valores encontrados para número de quedas variaram entre 337,0 ± 2,5 e 400,0 ± 12,0. Tais valores estão de acordo com resultados encontrados por Costa *et al.* (2008), em amostras de trigo importado, considerados de boa qualidade comercial e tecnológica. Vieira *et al.* (2013) também encontraram valores semelhantes para farinhas mistas de farinha de trigo e fécula de mandioca, nos percentuais de 5 e 10% de fécula.

Segundo a classificação proposta por Perten (1967) e os resultados apresentados, a farinha FC possui baixa atividade enzimática (número de queda ≥ 350) e as demais possuem atividade enzimática ideal (número de queda entre 201 e 350) para farinhas destinadas à panificação, sendo que o valor ótimo do número de queda depende do produto e do tipo de processo empregado (ICTA, 2016). Conforme esperado, as amostras que contém farinha de trigo fermentado e pigmentado apresentaram alta atividade enzimática, tendo em vista que, para metabolizar as moléculas de amido do trigo, há a produção de enzimas α e β amilases pelo fungo.

Farinhas com altos valores de número de queda, ou seja, de baixa atividade enzimática, são desejáveis tendo em vista que a adição de enzimas, que se faz necessária, aumenta a produção de

açúcares redutores e fermentescíveis. Os açúcares fermentescíveis servem de alimento para o fermento e os redutores promovem a geração dos produtos da reação de *Maillard*, intensificando cor da crosta e sabor, melhorando as características do produto final (GOESAERT *et al.*, 2005).

A figura 8 refere-se à microscopia eletrônica de varredura das amostras.

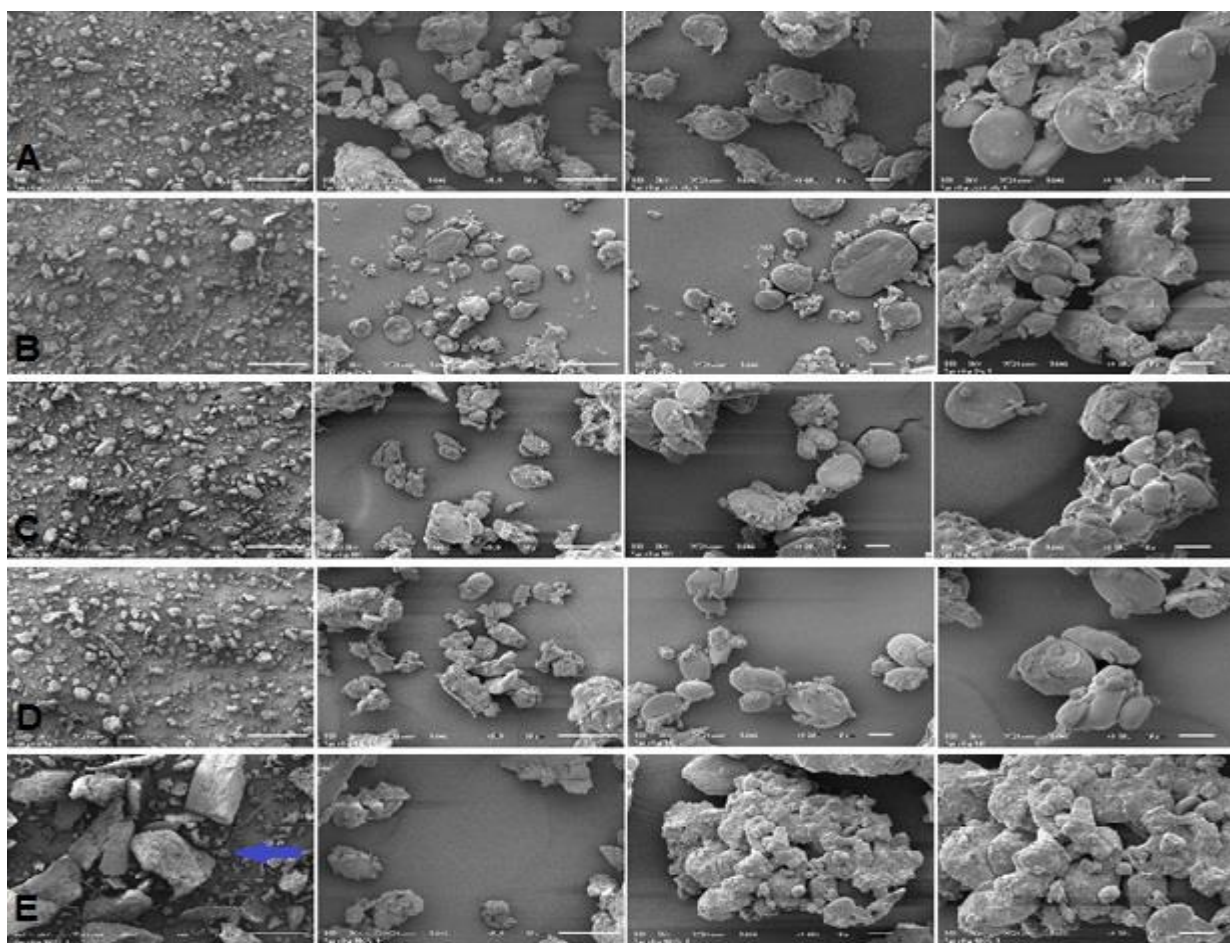


Figura 8 - Micrografia observada no MEV com aumento de 50x, 500x, 1000x e 1500x das amostras: A) FC (farinha branca); B) F5% (mistura de farinha branca e 5% de farinha de trigo fermentado e pigmentado); C) F10% (mistura de farinha branca e 10% de farinha de trigo fermentado e pigmentado); D) F15% (mistura de farinha branca e 15% de farinha de trigo fermentado e pigmentado); E) F100% (farinha de trigo fermentado e pigmentado). A seta em azul indica as partículas grandes presentes na amostra F100%.

Comparando as imagens da figura 8, observa-se claramente que a medida que aumenta o teor de farinha fermentada, também aumenta o tamanho de partículas grandes, conforme indicado na figura 8E. Isso porque a farinha fermentada foi produzida pela moagem completa do grão

fermentado, assim a quantidade de farelo na amostra F100% é bem maior que nas demais amostras.

Além disso, observa-se que os grânulos de amido apresentam-se no formato lenticular e superfície lisa na amostra FC e, conforme aumenta o teor de farinha fermentada, os grânulos apresentam saliências e irregularidades devido ao processo fermentativo pelo fungo *Monascus ruber*, a que foram submetidos. Segundo Oliveira *et al.* (2009), as irregularidades ou porosidade superficial dos grânulos de amido caracteriza grânulos danificados e não íntegros.

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos na farinografia das amostras de farinha de trigo. A farinografia consiste em análises que avaliam a qualidade de farinhas no tocante à sua capacidade de absorver água e sua resistência à mistura e amassamento (COSTA *et al.*, 2008). Ressalta-se que não foram obtidos os parâmetros farinográficos e extensográficos da amostra F 100% pois, devido à grande quantidade de farelo, não houve a formação de massa coesa a fim de possibilitar as determinações.

Tabela 5 - Resultados das análises de farinografia das farinhas de trigo branca e das misturas contendo farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*.

Amostras ¹	Análises de farinografia ²			
	Absorção de água (%)	TDM (min)	Estabilidade (min)	ITM (UF)
FC	56,07 ± 0,35 ^c	12,40 ± 0,17 ^a	19,50 ± 0,42 ^a	23,33 ± 5,77 ^c
F5%	58,80 ± 0,46 ^b	6,83 ± 0,06 ^b	9,40 ± 0,10 ^b	73,33 ± 5,77 ^b
F10%	59,73 ± 0,40 ^{ab}	6,77 ± 0,31 ^b	7,93 ± 0,38 ^c	140,00 ± 0,00 ^a
F15%	60,03 ± 0,12 ^a	6,43 ± 0,32 ^b	7,30 ± 0,17 ^c	146,67 ± 5,77 ^a

¹FC: Farinha controle composta somente de farinha branca; F5%: Mistura entre farinha branca e 5% de farinha fermentada; F10%: Mistura entre farinha branca e 10% de farinha fermentada; F15%: Mistura de farinha branca e 15% de farinha fermentada; F100%: Farinha fermentada; TDM: Tempo de desenvolvimento da massa; ITM: Índice de tolerância à mistura. ²Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey (p < 0,05).

Em todos os parâmetros farinográficos as amostras se diferiram estatisticamente (p < 0,05) da amostra controle (FC). Os parâmetros apresentaram valores característicos de farinha de trigo muito forte para FC e média força-forte para as demais amostras. Tal diminuição é explicada pela substituição parcial de farinha forte por farinha integral e, ainda, fermentada.

Segundo ICTA (2016), farinhas cujos valores de absorção são menores que 55% não são indicadas para panificação tendo em vista que, na produção de pães, é necessária a adição de

muita água para obtenção de produtos de qualidade, tanto para junção das moléculas de glúten, como para dissolução de ingredientes hidrófilos, ativação de enzimas e promoção da fermentação. Todas as amostras apresentaram valores superiores a 55% e, a capacidade de absorção de água aumentou com o incremento de farinha de trigo fermentada. O aumento do teor de fibras, decorrente da farinha integral, aumenta a capacidade de absorção de água, o que também foi observado por Tedrus *et al.* (2001). Além disso, a maior absorção de água das misturas com maiores teores de farinha fermentada pode ser justificada pela produção de amido danificado durante a moagem da mesma (FERNANDES *et al.*, 2008).

O parâmetro de absorção de água é de grande importância tecnológica, dada as funções da água de unir as proteínas formadoras do glúten, dissolução de sais, controle de consistência da massa e umidificação do amido (QUEJI; SHEMIN; TRINDADE, 2006).

A adição de farinha fermentada nas misturas promoveu brusca diminuição do TDM em todas as amostras com relação à FC. Tanto o TDM como a estabilidade são indicadores da força da farinha, em que valores mais elevados sugerem massas mais fortes.

O parâmetro ITM é um indicador de quão bem a massa vai se comportar durante os estágios finais da mistura e é inversamente proporcional ao aumento da força (YAMANI, 2013). As amostras F10% e F15% não se diferiram estatisticamente entre si e apresentaram valores muito elevados quando comparados ao controle (140,0, 146,67 e 23,33, respectivamente). Altos índices indicam baixa tolerância à mistura devido a menores teores de glúten.

Conforme esperado, a amostra FC apresentou maior valor de estabilidade. Este parâmetro indica maior resistência ao amassamento e melhor qualidade tecnológica. O número e a força das ligações cruzadas entre as moléculas de proteínas, contidas no glúten, interferem, em parte, no valor da estabilidade das massas (INDRANI; RAO, 2007).

Embora os tempos de desenvolvimento e de estabilidade da massa para as amostras F5%, F10% e F15% tenham sido consideravelmente menores que os da amostra controle, no estudo posterior a este, pães de forma produzidos a partir destas farinhas foram facilmente processados em todas as etapas. Segundo El-Dash e Germani (1994), farinhas com tempo de estabilidade de 7,5 minutos ou mais apresentam boa qualidade tecnológica para produção de pães de forma, o que ocorreu com todas as amostras, exceto a F15%, que, entretanto, não apresentou valor significativamente diferente de F10%.

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos na extensografia das amostras. A extensografia mede elasticidade ou tenacidade da massa por meio das características de energia (A), extensibilidade e resistência à extensão da massa (R).

Os resultados da energia das amostras não apresentaram valores estatisticamente diferentes ($p < 0,05$), entretanto, quanto maior o valor da energia, mais forte a farinha. Nos parâmetros de resistência à extensão, resistência máxima e extensibilidade, a adição de farinha de trigo fermentado e pigmentado alterou os valores com relação ao controle.

Tabela 6 - Resultados das análises de extensografia das farinhas de trigo branca e das misturas contendo farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*.

Amostras ¹	Análises de extensografia ²			
	A (cm ²)	R (U.E.)	RM (U.E)	Extensibilidade (mm)
FC	19,5 ± 0,5 ^a	376,7 ± 15,3 ^a	433,3 ± 25,17 ^a	110,7 ± 1,2 ^b
F5%	18,4 ± 0,2 ^a	263,3 ± 5,8 ^b	316,7 ± 11,55 ^b	143,0 ± 0,3 ^a
F10%	16,9 ± 1,4 ^a	230,0 ± 20,0 ^b	246,7 ± 15,28 ^c	143,0 ± 0,2 ^a
F15%	16,6 ± 2,4 ^a	216,7 ± 32,1 ^b	223,3 ± 30,55 ^c	131,0 ± 0,2 ^a

¹FC: Farinha controle composta somente de farinha branca; F 5%: Mistura entre farinha branca e 5% de farinha fermentada; F 10%: Mistura entre farinha branca e 10% de farinha fermentada; F 15%: Mistura de farinha branca e 15% de farinha fermentada; F 100%: Farinha fermentada; A: Energia; R: Resistência à extensão; RM: Resistência máxima. ²Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

As amostras F5%, F10% e F15% apresentaram valores menores que FC para resistência à extensão e resistência máxima, ou seja, o acréscimo de farinha fermentada resultou em prejuízo à rede de glúten, provocando perda de elasticidade da massa. Assim, essas farinhas produzem massas que apresentam menor capacidade de reter gás carbônico formado durante a fermentação, possivelmente resultando em produtos com menores volumes. Oliveira, Pirozi e Borges (2007), também encontraram menores valores de resistência à extensão em farinhas mistas (trigo e linhaça), comparadas à farinha branca. A extensibilidade de FC apresentou-se menor do que as demais amostras.

Os resultados de volume específico e dimensões dos pães estão apresentados na Tabela 7. A amostra controle apresentou o maior volume específico e observou-se que a adição de farinha fermentada tende a diminuir este valor. Em todos os resultados a amostra P15% diferiu-se estatisticamente ($p < 0,05$) da amostra controle. A perda do volume específico e diminuição das dimensões dos pães são justificadas pela adição da farinha de trigo fermentado, que é uma farinha integral. Segundo Yamani (2013), este comportamento pode ser explicado tendo em vista que a

substituição da farinha branca pela integral promove o enfraquecimento da massa, e assim ocorre a perda da força da rede de glúten na retenção de dióxido de carbono, dificultando o crescimento do pão.

Tabela 7 - Resultados dos volumes específicos e dimensões dos pães obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*.

Amostras ¹	Volume específico ² (cm ³ /g)	Dimensões ² (mm)		
		Altura	Largura	Comprimento
PC	2,11 ± 0,12 ^a	46,9 ± 0,32 ^a	38,6 ± 0,12 ^b	106,3 ± 0,10 ^a
P5%	1,79 ± 0,14 ^b	46,8 ± 0,27 ^a	40,0 ± 0,07 ^a	107,3 ± 0,07 ^a
P10%	1,74 ± 0,15 ^b	46,7 ± 0,10 ^a	39,6 ± 0,10 ^{ab}	106,7 ± 0,18 ^a
P15%	1,32 ± 0,06 ^c	42,3 ± 0,22 ^b	40,2 ± 0,04 ^a	103,9 ± 0,25 ^b

¹PC: Pão controle composto somente de farinha branca; P5%: Pão feito com farinha branca e 5% de farinha fermentada; P10%: Pão feito com farinha branca e 10% de farinha fermentada; P15%: Pão feito com farinha branca e 15% de farinha fermentada; ²Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey (p<0,05).

Na figura 8, observou-se os pães de forma elaborados com diferentes percentagens de farinha de trigo fermentado. Silva *et al.* (2009), produziram pães de forma substituindo farinha de trigo branca por farinha de "okara" nos percentuais de 5%, 10% e 15% e, igualmente, foi observada redução significativa nos volumes específicos das amostras comparadas ao controle, feito somente com farinha branca. Além disso, a adição de maiores teores de farinha de linhaça em substituição à farinha de trigo branca também promoveu a diminuição do volume dos pães, segundo Oliveira, Pirozi e Borges (2007).

A dimensão dos pães está também associada à quantidade de proteínas presentes na farinha, isto porque elevados teores de proteína resultam em massa altamente elástica, facilmente fermentável, que pode crescer e manter-se grande após a cozedura (BRANDT *et al.*, 2005).

Os resultados das determinações dos parâmetros de cor do miolo e da crosta dos pães estão apresentados na Tabela 9. A figura 9 apresenta os pães PC, P5%, P10% e P15% inteiros e cortados longitudinalmente, após o forneamento.

Tabela 8 - Parâmetros de cor dos miolos e crostas dos pães obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado por *Monascus ruber*.

	Amostras	L*	a*	b*	C	H
Miolo	P C	68,64 ± 1,13 ^a	7,61 ± 0,92 ^c	22,64 ± 1,44 ^a	23,99 ± 1,79 ^a	1,24 ± 0,03 ^a
	P 5%	60,75 ± 2,33 ^b	10,89 ± 1,37 ^b	21,49 ± 1,83 ^a	24,60 ± 2,15 ^a	1,09 ± 0,03 ^b
	P 10%	55,92 ± 0,70 ^c	12,94 ± 0,68 ^a	21,05 ± 1,04 ^a	25,11 ± 1,21 ^a	1,01 ± 0,01 ^c
	P 15%	54,22 ± 1,68 ^c	12,72 ± 1,30 ^a	18,23 ± 1,92 ^b	21,46 ± 2,31 ^a	0,96 ± 0,01 ^d
Crosta	P C	64,61 ± 2,77 ^a	0,82 ± 0,19 ^d	12,75 ± 0,44 ^b	13,00 ± 0,48 ^c	1,51 ± 0,01 ^a
	P 5%	54,22 ± 2,72 ^b	6,34 ± 0,35 ^c	13,09 ± 0,36 ^b	14,60 ± 0,44 ^b	1,12 ± 0,02 ^b
	P 10%	50,49 ± 1,80 ^c	9,4 ± 0,40 ^b	14,75 ± 0,75 ^a	17,19 ± 0,81 ^a	1,00 ± 0,02 ^c
	P 15%	47,75 ± 1,28 ^d	10,68 ± 0,38 ^a	14,68 ± 0,39 ^a	18,15 ± 0,53 ^a	0,93 ± 0,01 ^d

¹PC: Pão controle composto somente de farinha branca; P5%: Pão feito com farinha branca e 5% de farinha fermentada; P10%: Pão feito com farinha branca e 10% de farinha fermentada; P15%: Pão feito com farinha branca e 15% de farinha fermentada. ²Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey (p<0,05).

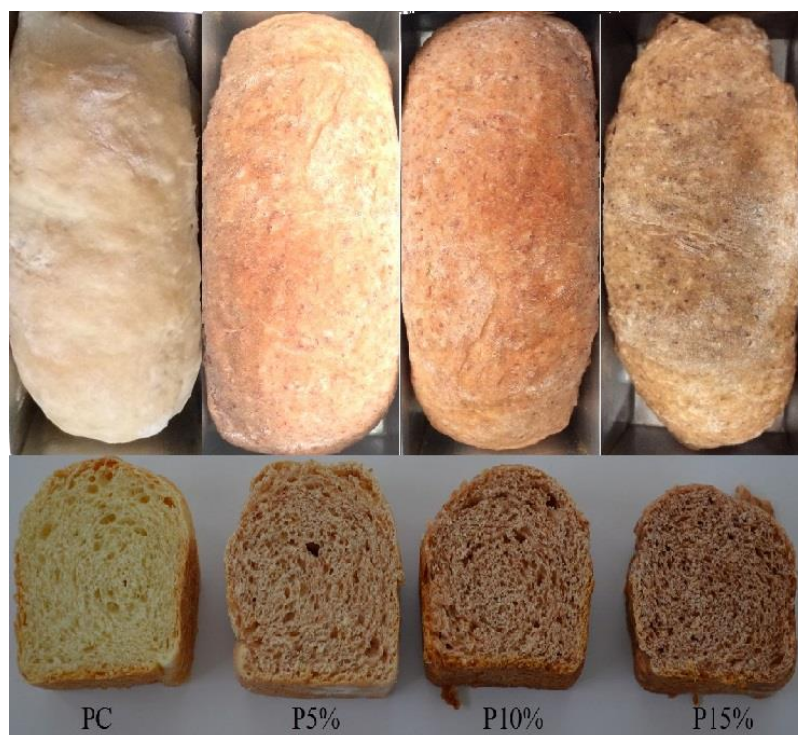


Figura 9 - Pães de forma produzidos com farinha de trigo branca e com substituição parcial de farinha de trigo branca por farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*, inteiros e cortados, após o forneamento.

A luminosidade dos miolos variou entre $54,22 \pm 1,68$ e $68,64 \pm 1,13$. Todas as amostras apresentaram valores estatisticamente menores que PC ($p < 0,05$), ou seja, seus miolos são mais escuros. No parâmetro a^* , todas as amostras também se diferiram de PC, entretanto apresentaram

valores maiores, demonstrando predominância do vermelho em detrimento do verde. Tal resultado já era esperado tendo em vista a presença do pigmento vermelho nas amostras P5%, P10% e P15%. No parâmetro b^* , a amostra P15% apresentou valor estatisticamente menor das demais, corroborando com os valores obtidos para a^* , apresenta tendência mais avermelhada que as demais amostras.

Com relação às crostas, a luminosidade de todas amostras se diferiram estatisticamente, sendo que P15% apresentou o menor valor. No parâmetro a^* , todas as amostras se diferiram estatisticamente, sendo que o valor aumentou com o aumento do teor de farinha de trigo fermentada, que possui o pigmento vermelho. No parâmetro b^* , as amostras P10% e P15% apresentaram valores estatisticamente iguais entre si e maiores que PC e P5%, que também são iguais. Segundo Noort *et al.* (2010), a utilização de farelo de trigo na farinha de trigo para produção de pães resulta em mudanças nas propriedades da massa e características de qualidade dos pães, tais como menor volume, escurecimento da casca e textura mais densa do miolo, conforme ocorreu neste estudo.

A fermentação do farelo de trigo pode ser empregada para minimizar os efeitos negativos da reologia da massa e volume do pão (DE KOCK; TAYLOR; TAYLOR, 1999), isso pode justificar as características reológicas encontradas nos pães P5%, P10% e P15% que foram produzidos com farinhas adicionadas de farelo fermentado pelo fungo *Monascus ruber*.

A estrutura alveolar do miolo dos pães ou sua microestrutura como vem sendo denominada é uma característica de extrema importância pois afeta atributos sensoriais e físicos, tais como sabor, textura, aroma, porosidade, cor e outros (ESTELLER, 2007). A figura 10 representa as fatias dos pães escaneadas que foram analisadas pelo *software*. Observa-se que foram encontradas diferentes formas e áreas para as células em cada amostra. A tabela 9 apresenta os resultados das análises de imagem das amostras.

Tabela 9 - Análise das imagens das amostras de pães obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado por *Monascus ruber*.

Amostra ¹	Nº de alvéolos	Área total alvéolos (mm ²)	Tamanho médio (mm)
PC	530,0 ± 62 ^a	846,76 ± 169 ^a	1,38 ± 0,22 ^b
P5%	340,0 ± 18 ^c	697,55 ± 152 ^a	1,99 ± 0,46 ^a
P10%	450,0 ± 22 ^b	836,24 ± 119 ^a	1,84 ± 0,30 ^a
P15%	462,0 ± 55 ^b	670,29 ± 98 ^a	1,39 ± 0,18 ^b

¹PC: Pão controle composto somente de farinha branca; P5%: Pão feito com farinha branca e 5% de farinha fermentada; P10%: Pão feito com farinha branca e 10% de farinha fermentada; P15%: Pão feito com farinha branca e

15% de farinha fermentada. ²Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

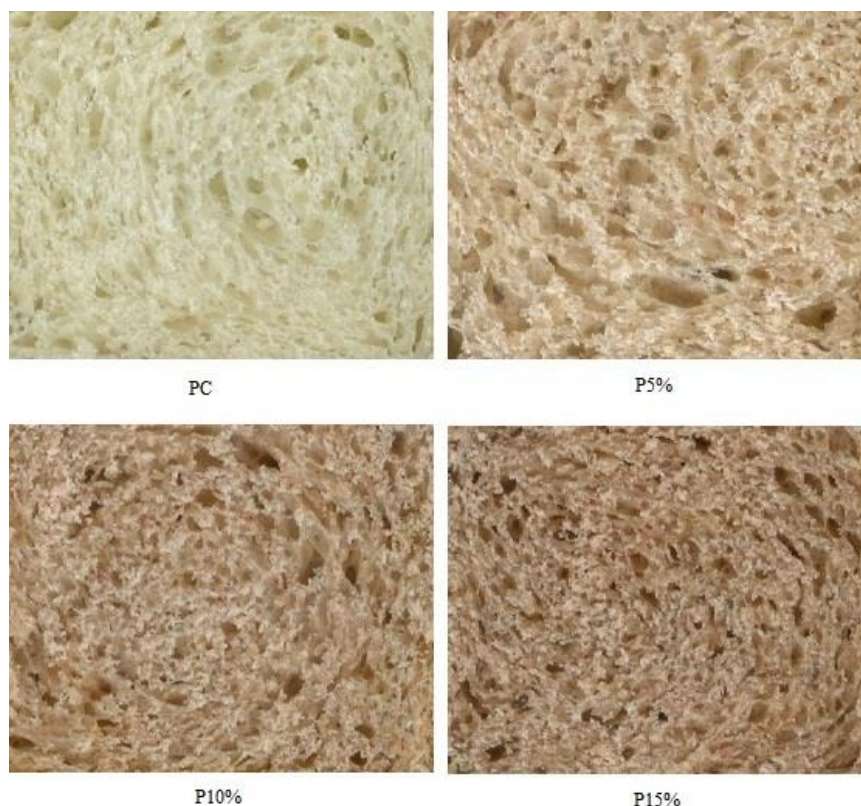


Figura 10 - Imagens dos miolos dos pães de forma produzidos com farinha branca e com diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*, representado suas estruturas alveolares.

Os resultados obtidos das amostras demonstraram a grande variabilidade do miolo, o que dificulta a obtenção de produtos de panificação com características padronizadas, mesmo quando é empregado um método de produção bem definido. As amostras apresentaram número de alvéolos variando entre 340 e 530. A amostra controle apresentou maior número de alvéolos, seguida das amostras P10% e P15%. Verificou-se que a adição de farinha de trigo fermentado teve efeito significativo sobre o número de alvéolos nos miolos das amostras.

As áreas totais dos alvéolos das amostras não se diferiram estatisticamente, já o tamanho médio dos alvéolos das amostras P5% e P10% apresentaram-se iguais e maiores que das amostras PC e P15%, também iguais.

Segundo Cauvain (2009), considera-se de qualidade pães cuja estrutura do miolo tenha porosidade alta e células gasosas e finas, entretanto, cada tipo de pão tem característica celular

própria. Além disso, uma grande quantidade de poros pode apresentar maior volume específico do produto, o que é desejável para alguns consumidores e, portanto, pode ser vantajoso para indústria de alimentos (SCHOENLECHNER *et al.*, 2013).

A textura dos alimentos é, basicamente, uma propriedade sensorial capaz de ser mensurada pela medida da resistência que um determinado alimento opõe à deformação provocada por ação de força (GARCIA, 2003). Segundo Blandino *et al.* (2013), tendo em vista que a análise instrumental TPA reflete a análise sensorial dos pães, esta pode ser utilizada para avaliar objetivamente o impacto da substituição da farinha de trigo branca por farinha de trigo fermentada sobre a percepção de qualidade e atributos dos pães. As figuras 11 e 12 representam o comportamento de textura dos miolos e das crostas das amostras, respectivamente.

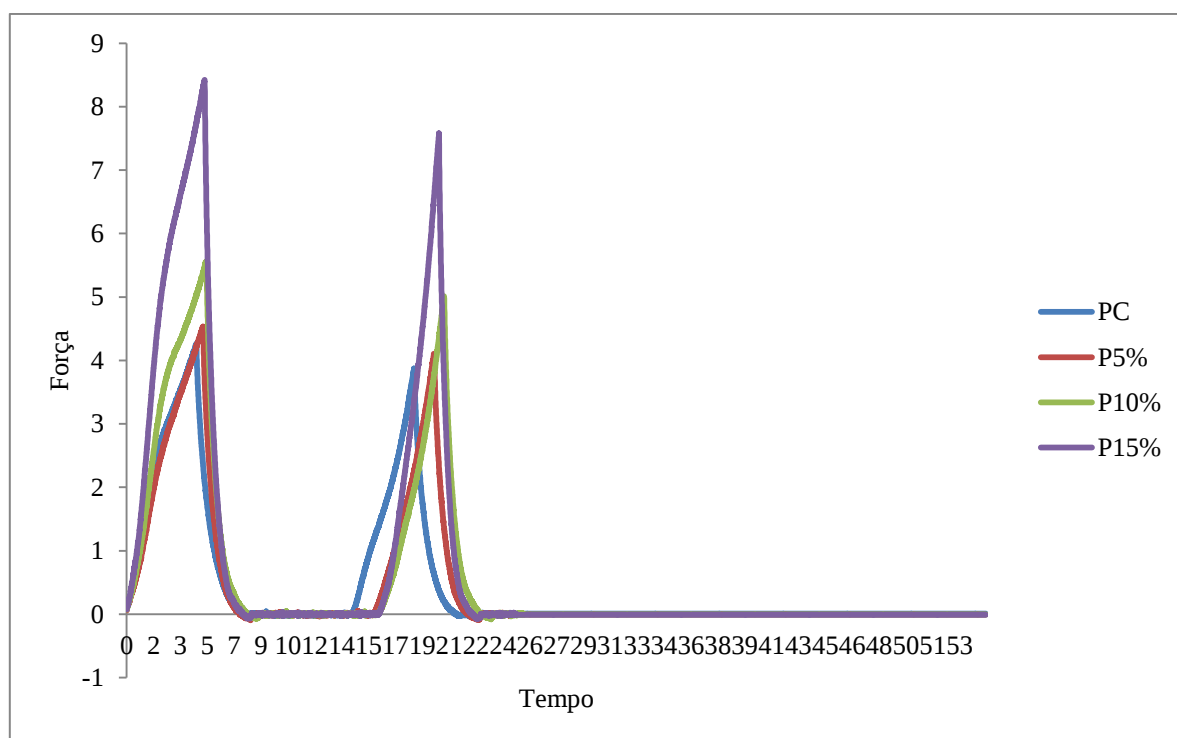


Figura 11 – Comportamento de textura dos miolos dos pães de forma obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*.

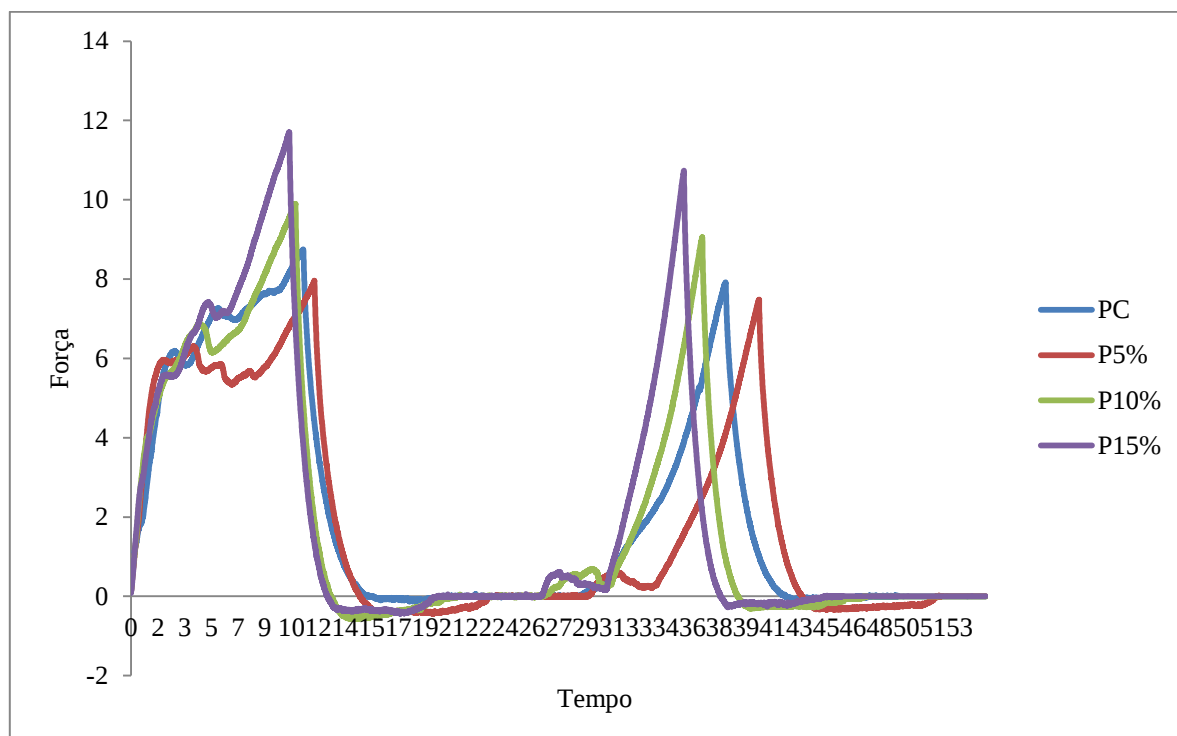


Figura 12 - Comportamento de textura das crostas dos pães de forma obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado e pigmentado por *Monascus ruber*.

A partir dos gráficos gerados pela análise de textura de miolo e crosta foram calculados os parâmetros de textura que estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros de textura dos miolos e crostas das amostras de pães obtidos por diferentes percentuais de farinha de trigo fermentado por *Monascus ruber*.

	Amostras ¹	D (N)	C	E	M (Nm)	Fr (N)
Miolo	PC	4,47 ± 0,75 ^c	0,68 ± 0,02 ^a	0,90 ± 0,02 ^a	2,72 ± 0,41 ^b	-
	P5%	4,55 ± 0,40 ^{bc}	0,63 ± 0,02 ^b	0,84 ± 0,04 ^b	2,42 ± 0,20 ^c	-
	P10%	5,76 ± 0,67 ^b	0,58 ± 0,02 ^c	0,82 ± 0,02 ^c	2,72 ± 0,31 ^b	-
	P15%	8,51 ± 0,55 ^a	0,54 ± 0,01 ^d	0,76 ± 0,02 ^d	3,45 ± 0,22 ^a	-
Crosta	PC	9,00 ± 0,71 ^b	0,45 ± 0,03 ^a	0,86 ± 0,08 ^a	3,47 ± 0,46 ^b	5,91 ± 0,81 ^b
	P5%	7,90 ± 0,61 ^c	0,40 ± 0,2 ^b	0,88 ± 0,05 ^a	2,75 ± 0,31 ^c	5,48 ± 0,73 ^b
	P10%	9,79 ± 1,14 ^b	0,40 ± 0,03 ^b	0,91 ± 0,03 ^a	3,57 ± 0,55 ^b	6,19 ± 1,21 ^{ab}
	P15%	11,81 ± 0,59 ^a	0,39 ± 0,01 ^b	0,92 ± 0,03 ^a	4,26 ± 0,29 ^a	7,42 ± 1,25 ^a

¹PC: Pão controle composto somente de farinha branca; P5%: Pão feito com farinha branca e 5% de farinha fermentada; P10%: Pão feito com farinha branca e 10% de farinha fermentada; P15%: Pão feito com farinha branca e 15% de farinha fermentada. D: Dureza; C: Coesividade, E: Elasticidade; M: Mastigabilidade; Fr: Fracturabilidade.

²Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey (p<0,05).

A análise de textura demonstrou maior dureza do miolo na amostra P15% (8,51 N). Observou-se que a dureza aumentou conforme o aumento do teor de farinha de trigo fermentada. O acréscimo de 5% de farinha fermentada não alterou significativamente a dureza do miolo do pão, comparado ao controle.

As amostras P10% e P15% apresentaram maiores valores de dureza de miolo e menores valores de volume específico. A mesma relação inversa foi encontrada por Cavallini (2015) em pães de forma com substituição de farinha de trigo branca por farinha de fruta-pão, nos teores de 15%, 20% e 100%. Dentre os demais parâmetros de textura do miolo, todas as amostras se diferiram estatisticamente.

Koletta *et al.* (2014) produziram pães substituindo parcialmente farinha de trigo por farinha de centeio, cevada e aveia. Assim como no presente trabalho, os citados autores encontraram relação inversa entre o volume específico e a firmeza das amostras.

A mastigabilidade da amostra P15% apresentou maior valor, sendo necessário, portanto, maior esforço para mastigar estes pães comparados com os demais. Os parâmetros de coesividade e elasticidade apresentaram relação negativa, sendo que PC apresentou valor menor de coesividade e maior para elasticidade.

Com relação às crostas das amostras, a adição de farinha fermentada alterou parcialmente as características de textura. A adição de 15% de farinha fermentada promoveu o aumento da dureza da crosta em 31,22% com relação à dureza da crosta de PC. P10% apresentou a mesma dureza de PC, enquanto P5% apresentou dureza menor.

A fracturabilidade das amostras P5% e P10% não se diferiram estatisticamente da amostra PC. P15% apresentou valor maior que PC e P5% e estatisticamente igual a P10%. Este parâmetro trata-se de uma propriedade mecânica relacionada à força necessária para ruptura da crosta, representado pelo primeiro pico dos gráficos, na Figura 10.

A coesividade das amostras P5%, P10% e P15% apresentaram valores iguais e estatisticamente maiores que o controle. Já no parâmetro de elasticidade, as amostras não se diferiram. Assim como no miolo, a amostra P15% apresentou maior mastigabilidade para a crosta.

A alteração dos parâmetros de textura, tanto do miolo quanto da crosta, com a adição de farinha de trigo fermentado pode também ser explicada pela retrogradação do amido. O trigo utilizado na fermentação para produção de farinha pigmentada foi submetido a um tratamento

térmico ao ser esterilizado e, em seguida, foi arrefecido, o que promoveu a gelatinização do amido. Aos poucos o amido foi perdendo energia e as pontes de hidrogênio tornaram-se mais fortes e houve reassociação das cadeias ao redor dos grânulos de amido gelatinizados. Essas cadeias ao interagirem fortemente, promoveram a saída de água do sistema, a denominada sinérese (DENARDIN; SILVA, 2009).

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pelas farinhas demonstram que:

- É possível produzir farinhas de trigo modificadas, contendo pigmento vermelho, a partir da fermentação em estado sólido do trigo pelo fungo *M. ruber*;
- As farinhas F5%, F10% e F15% possuem força média-forte e FC muito forte, e são ideais para fabricação de pães, bolos e massas;
- É possível produzir pães de forma substituindo-se a farinha de trigo branca por farinha de trigo fermentado nas proporções de 5%, 10% e 15%, obtendo-se pães com características favoráveis;
- A farinhas podem ser utilizadas para desenvolvimento de novos produtos coloridos destinados ao público infantil, tais como pães, bolos, biscoitos;
- A substituição parcial proposta neste trabalho pode ser uma alternativa para oferta de um produto que, além de ser integral, pode oferecer outras características funcionais;
- A fermentação prévia do trigo minimiza os efeitos negativos da farinha de trigo integral sobre a reologia da massa de pão.

REFERÊNCIAS

AACC - American Association of Cereal Chemists. *Approved methods of the AACC*. Saint Paul: AACC, 2008.

AOAC - Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 19^a ed. Washington, DC - USA, V1 e 2, 2012.

BABITHA, S.; SOCCOL, C. R.; PANDEY, A. Jackfruit Seed - a novel substrate for the production of *Monascus* pigments through solid-state fermentation. **Food Technology and Biotechnology**, Zagreb, v. 44, p. 465-471, 2006.

BARANOVA, M.; MALA, P.; BURDOVÁ, O.; HADBAVNY, M.; SABOLOVÁ, G. Effect of natural pigment of *Monascus purpureus* on the organoleptic characters of processed cheese. **Bulletin of the Veterinary Institute in Pullawy**, Pulawy, n. 48, p. 59-62, 2004.

BÁRCENAS, M. E.; FORTOUL, R. A.; ROSELL, C. M. Effect of high pressure processing on wheat dough and bread characteristics. **LWT - Food Science and Technology**, London, v.43 (1), p. 12-19, 2010.

BLANDINO, M.; SOVRANI, V.; MARINACCIO, F.; REYNERI, A.; ROLLE, L.; GIOCOSA, S.; LOCATELLI, M.; BORDIGA, M.; TRAVAGLIA, F.; COISSON, J. D. Nutritional and technological quality of bread enriched with an intermediated pearled wheat fraction. **Food Chemistry**, Barking, v. 141, p. 2549-2557, 2013.

BORGES, J. T. S. **Avaliação tecnológica da farinha mista de trigo e linhaça integral e sua utilização na elaboração de pão de sal**. 2009. 144p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

BRANDT, K.; LUCK, L.; BERGAMO, P.; WHITLEY, A.; VELIMIROV, A. Processing of wheat to bread control of quality and safety in organic production chains. **Organic HACCP**, Oslo, v.10, 2005.

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 8, 03 jun. 2005. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 jun. 2005, Seção 1, n. 105, p. 91.

BRASIL, D. L.; BELO, T. A. R.; ZAMBELLI, R. A.; PONTES, D. F.; SILVA, M. L. Desenvolvimento de pães tipo de forma adicionado de farinha de berinjela. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química 2014. Anais. Florianópolis. 2014.

CANELLA-RAWLS, S. **Pão: arte e ciência**. 5^a ed. São Paulo: Editora Senac, 2012. 323p.

CARVALHO, J. C. **Desenvolvimento de bioprocesso para produção de pigmentos a partir de *Monascus* por fermentação em substrato sólido**. 2004. 90p. Tese (Doutorado em Processos Biotecnológicos) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CARVALHO, J. C.; OISHI, B. O.; WOICIECHOWSKI, A. L.; PANDEY, A.; BABITHA, S.; SOCCOL, C. R. Effect of substrates on the production of *Monascus* biopigments by solid-state fermentation and pigment extraction using different solvents. **Indian Journal of Biotechnology**, New Delhi, v. 6, p. 194-199, 2007.

CAVALLINI, O. F. **Caracterização físico-química do amido e da farinha da fruta-pão (*Artocarpus altilis*) e aplicação em pão de forma**. 2015. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

CAUVAIN, S.; YOUNG, L. **Tecnologia da Panificação**, São Paulo, 2ª ed., p.418. 2009.

COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. Effects substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 60, p. 729-736, 2015.

COSTA, M. G.; SOUZA, E. L.; STAMFORD, T. L. M.; ANDRADE, S. A. C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 220-225, 2008.

COUTO, E. M. **Utilização da farinha de casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na elaboração de pão de forma**. 2007. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com as propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.

DE KOCK, S., TAYLOR, J., TAYLOR, J. R. N. Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 32, p.349-356, 1999.

DUFOSSÉ, L. Fouillaud, M.; Caro, Y.; Mapari, S. A. S.; Sutthiwong, N. Filamentous fungi are large-scale producers of pigments and colorants for the food industry. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 26, p. 56-61, 2014.

DUFOSSÉ, L. **Pigments, microbial**. In: Encyclopédia of microbiology. 3^a ed. Oxford: Academic, p. 457-471, 2009.

EL-DASH, A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 55, n. 4, p. 436-446, 1982.

EL-DASH, A.; CAMARGO, C. O.; DIAZ, N. M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1983, p. 349 (Série tecnologia agroindustrial n.6).

EL-DASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e milho na produção de pães**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994, 81 p.

ESTELLER, M. S. **Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico e bioquímico**. 2007. 154p. Tese (Doutorado em Tecnologia bioquímico-farmacêutica). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FARONI, L. R. D.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P.; COELHO, E. M. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 115-119, 2007.

FERNANDES, A. F; PEREIRA, J.; GERMANI, R.; OIANO-NETO, J. Efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinha de casca de batata (*Solanum Tuberosum Lineu*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 56-65, 2008.

GARCIA, J. **Acompañamiento de las propiedades físicas - textura y viscoelasticidad del queijo serpa a lo largo de la maduración**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia/U.T.L., Lisboa, 2003.

GIECO, E. A.; DUBKOVSKY, J.; CAMARGO, L. E. A. Interaction between resistance to *Septoria tritici* and phenological stages in wheat. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 422-426, 2004.

GOESAERT, H.; BRUS, K.; VERAVERBEBEKE, W. S.; COURTIN, C. M; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J.A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Foods Science & Tecnology**, Colney, v. 16, n. 1/3, p. 12-30, 2005.

HAJJAJ, H.; BLANC, P. J.; GROUSSAC, E.; GOMA, G.; URIBELARREA; LOUBIERE, P. Improvement of red pigment/citrinin production ratio as a function of environmental conditions by *Monascus ruber*. **Biotechnology and Bioengineering**, Hoboken, v. 64, p. 497-501, 1999.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v.1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3 ed. São Paulo: IMESP, p. 21-22. 1985.

ICTA - Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. *Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo*. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/avaliacao-farinha-trigo/2a.php>. Acesso em: dezembro de 2016.

INDRANI, D.; RAO, G. V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influence by ingredients of *Parotta*. **Journal of Food Engeneering**, Califórnia, v. 17, n. 1, p. 110-115, 2007.

ISFRAN, D.; ALTHOFF, J.; MORITZ, D. E.; VENDRUSCOLO, F. Estudo da produção de pigmentos vermelhos por *Monascus ruber* CCT 3802 utilizando cana de açúcar como substrato em fermentação submersa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20, 2014, Florianópolis. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. v.1, n.2, 2015.

KOLETTA, P.; IRAKLI, M.; PAPAGEORGIOU, M.; SKENDI, A. Physicochemical and technological properties of highly enriched wheat breads with whole grains non wheat flours. **Journal of Cereal Science**, London, v. 60, p. 561-568, 2014.

LIMA, T. C.; MEDINA, P. F.; FANAN, S. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerados e de frio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 152-158, 2006.

MIYASHIRA, G.; RODRIGUES R.; KILIKIAN, B. V. Seleção de linhagens de *Monascus* sp. para cultivo em meio semi-sólido. SINAFERM - XIV Simpósio Nacional de Fermentações. Florianópolis - SC: Anais - artigo 133 CD-room, 2003.

NOORT, M. M. J., VAN HAASTER, D., HEMERY, Y., SCHOLS, H. A., HAMER, R. J. The effect of particle size of wheat bran fraction on bread quality – evidence for fibre-protein interactions. **Journal of Cereal Science**, London, v. 52, p. 59–64, 2010.

OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. S. Elaboração do pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 2, p. 141-150, 2007.

OLIVEIRA, T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. S.; GERMANI, R.; FONTES, M. P. F. Caracterização do amido do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, v. 27, n. 1, p. 27-42, 2009.

OLIVEIRA, C. F. D.; VENDRUSCOLO, F.; COSTA, J. P. V.; ARAÚJO, W. D. B. **Bagaço de malte como substrato para produção de biopigmentos produzidos por *Monascus ruber* CCT 3802**. Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 3, n. 3, p. 6–9, 2016.

PALANICHAM, V.; HUNDET, A.; MITRA, B.; REDDY, N. Optimization of cultivation parameters for growth and pigment production by *Streptomyces* spp. Isolated from marine sediment and *rhizosphere* soil. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, Chicago, v. 1, p. 158-170, 2011.

PATTANAGUL, P.; PINTHOHG, R.; PHIANMONGKHOL, A.; LEKSAWSDI, N. Review of angak production (*Monascus purpureus*). **Chiang Mai Journal of Science**, Chiang Mai, v. 34, n. 3, p. 319-328, 2007.

PERTEN, H. Factors influencing falling number values. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 12, n. 12, p. 516-519, 1967.

PIOVESANA, A.; BUENO, M. M.; KLAJN, V. M. Elaboração e aceitabilidade de biscoitos enriquecidos com aveia e farinha de bagaço de uva. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 1, 2013.

PRIATNI, S.; DAMAYANI, S.; SARASWATY, V.; RATNANINGRUM, D.; SINGGIH, M. The utilization of solid substrates on *Monascus* fermentation for anticholesterol agent production. **Procedia Chemistry**, Chicago, v. 9, p. 34-39, 2014.

QUEJI, M. F. D.; SCHEMIN, M. H. C.; TRINDADE, J. L. F. Propriedades reológicas das massas de farinha de trigo adicionada de alfa-amilase. **Publicatio UEPG: Ciências exatas e da terra, Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 12, n. 12, p. 21-29, 2006.

RÊGO, T. F.; CORREIA, A. M. M.; ARAÚJO, J. A. R.; GURGEL, J. C.; SOUZA, A. Expectativas de retorno e riscos percebidos no agronegócio corante natural de caju para o mercado B2B. **Custos e agronegócios online**, Recife, v.11, n. 2, 2015.

SCHOENLECHNER, R.; DRAUSINGER, J.; OTTENSCHLAEGER, V.; JURACKOVA, K.; BERGHOFER, E. Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and buckwheat. **Plants Foods for Human Nutrition**, v. 65, n. 4, p. 339-349, 2013.

SILVA, L. H.; PAUCAR-MENACHO, L. M.; VICENTE, C. A.; SALLES, A. S.; STEEL, C. J. Desenvolvimento de pão de forma com adição de farinha de "okara". **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 4, p. 315-322, 2009.

SLAVIN, J. L., JACOBS, D., MARQUART, L., WIEMER, K. The role of whole grains in disease prevention. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 101, n. 7, p. 780-785, 2001.

TEDRUS, G. A. S.; ORMENESE, R. C. S. C.; SPERANZA, S. M.; CHANG, Y. K.; BUSTOS, F. M. Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade dos pães. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, p. 20-25, 2001.

VENDRUSCOLO, F. **Produção de pigmento vermelho a partir de pigmento laranja produzido por *Monascus ruber* CCT 3802**. 2009. 236p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

VERNAZA, M. G.; GULARTE, M. A.; CHANG, Y. K. Addition of green banana flour to instant noodles: rheological and technological properties. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1157-1165, 2011.

VIEIRA, J. C.; MONTENEGRO, F. M.; LOPES, A. S.; PENA, R. S. Influência da adição de fécula de mandioca nas características do pão tipo chá. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 28, p. 37-48, 2013.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, p. 157-166, 2009.

WANG, J.; ROSELL, C. M.; BARBER, C. B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. **Food Chemistry**, Barking, v. 19, n. 2, p. 221-226, 2002.

YAMANI, B. V. **Substituição parcial de farinha de trigo por farinha de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) e maca (*Lepidium meyenii* W.) na elaboração de panetone**. 2013. 238p. Tese (Doutorado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica, área de Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de pigmento vermelho a partir da fermentação em estado sólido por *Monascus ruber*, utilizando o trigo como substrato, é possível e viável. As farinhas modificadas contendo farinha de trigo fermentado apresentaram características químicas e tecnológicas que possibilitam a produção de produtos de panificação com características sensoriais e nutricionais diferenciadas. Foi possível a produção de pães de forma a partir de todas as farinhas modificadas e, além disso, os pães apresentam características que podem ser atraentes para o público consumidor.

Propõe-se que estudos sejam realizados a fim de pesquisar a presença de lovastatina na farinha de trigo e pães produzidos a partir de grãos de trigo fermentado por *M. ruber*.