

Elaboração e caracterização de filmes extrusados a partir de blendas de poli (adipato-co-tereftalato de butileno) e farinha de trigo com diferentes *Falling number***Elaboration and characterization of extruded films from blends of poly (butylene adipate-co-terephthalate) and wheat flour with different *Falling number***

DOI:10.34117/ bjdv6n6-617

Recebimento dos originais: 08/05/2020

Aceitação para publicação: 28/06/2020

Geane Cristiane Balan

Mestre em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina
Endereço: Avenida João Miguel Caram, 3131 – Jardim Morumbi, Londrina – PR, Brasil
E-mail: geanebalan@gmail.com

Fabio Yamashita

Doutor em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas
Instituição: Universidade Estadual de Londrina
Endereço: Rodovia Celso Garcia Cid - Pr 445 Km 380, Londrina – PR, Brasil
E-mail: fabioy@uel.br

Lyssa Setsuko Sakanaka

Doutora em Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina
Endereço: Avenida João Miguel Caram, 3131 – Jardim Morumbi, Londrina – PR, Brasil
E-mail: lyssa@utfpr.edu.br

Marianne Ayumi Shirai

Doutora em Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina
Endereço: Avenida João Miguel Caram, 3131 – Jardim Morumbi, Londrina – PR, Brasil
E-mail: marianneshirai@utfpr.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi produzir filmes por extrusão sopro em balão a partir de farinha de trigo com diferentes valores de falling number (FN), glicerol e PBAT. Foram realizadas análises de FN, alveografia e cor da farinha de trigo e nos filmes determinou-se as propriedades mecânicas, permeabilidade ao vapor de água (PVA) e cor. Foram selecionados dois tipos de farinha de trigo com os seguintes valores de FN: 184 s (baixo, FNB) e 364 s (alto, FNA). As amostras de farinha de trigo apresentaram diferenças significativas para todos os parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*) e essa diferença também se manteve para os filmes. Os filmes apresentaram luminosidade (L^*) menor ($88,48 \pm 0,54$ para FNB e $89,31 \pm 0,40$ para FNA) em relação às farinhas ($91,18 \pm 0,04$ para FNB e $92,64 \pm 0,03$ para FNA), sugerindo a ocorrência de reação de Maillard durante o processamento do filme por extrusão. Com relação às propriedades mecânicas, apenas o alongamento na ruptura apresentou diferença significativa ($559 \pm 65,69$ % para filmes FNB e $420 \pm 62,44$ % para filmes

FNA) sendo estes resultados semelhantes aos filmes de polietileno de baixa densidade. As farinhas com diferentes FN não interferiram na PVA dos filmes. O uso de farinhas com diferentes FN não interferem nas propriedades dos filmes produzidos por extrusão sopro em balão, sugerindo que a farinha de trigo de baixo FN, normalmente de menor interesse industrial, é uma matéria-prima interessante para produção de embalagens biodegradáveis.

Palavras-chave: Biodegradável, Extrusão sopro, Atividade enzimática, Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The objective of this work was to produce films by blown extrusion using wheat flour with different values of falling number (FN), glycerol and PBAT. Analyzes of FN, alveography and color of the wheat flour were done and the mechanical properties, water vapor permeability (WVP) and color were performed in the films. Two types of wheat flour were selected with the following FN values: 184 s (low, FNB) and 364 s (high, FNA). Wheat flour samples showed significant differences for all color parameters (L^* , a^* and b^*) and this difference was also maintained in the films. The films presented lower luminosity (L^*) (88.48 ± 0.54 for FNB and 89.31 ± 0.40 for FNA) in relation to flour (91.18 ± 0.04 for FNB and 92.64 ± 0.03 for FNA), suggesting the occurrence of Maillard reaction during the processing of the film by extrusion. Regarding the mechanical properties, only the elongation at break showed a significant difference ($559 \pm 65.69\%$ for FNB films and $420 \pm 62.44\%$ for FNA films), these results being similar to low density polyethylene films. Flours with different FN did not interfere in the WVP of the films. The use of flours with different FNs does not interfere in the properties of films produced by blown extrusion, and the use of low-FN wheat flour, considered of low industrial interest, could be an interesting material for the production of biodegradable packaging.

Keywords: Biodegradable, Blown extrusion, Enzymatic activity, Mechanical Properties.

1 INTRODUÇÃO

O aumento na geração de resíduos sólidos não biodegradáveis e a dificuldade na sua reciclagem tem motivado a pesquisa e o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis para produção de embalagens. Polissacarídeos e proteínas são biopolímeros com potencial de aplicação na produção de filmes biodegradáveis. Outra alternativa é o uso de farinhas, que são misturas complexas de amido, proteína, lipídeos e fibras. Estudos relatam a obtenção de filmes com propriedades interessantes utilizando farinhas obtidas de diferentes fontes como amaranto, banana, aveia e trigo (ANDRADE-MAHECHA; TAPIA-BLÁCIDO; MENEGALLI, 2012; PELISSARI et al., 2013; BENINCASA et al., 2017), e atribuem as boas características dos filmes decorrentes das interações moleculares entre os carboidratos, proteínas e lipídeos presentes na farinha.

Neste sentido, a farinha de trigo destaca-se como matéria-prima potencial na produção de filmes biodegradáveis, visto que o trigo é de grande importância para a economia brasileira, devido ao elevado consumo de seus derivados. No entanto, uma parcela dos grãos de trigo acaba sendo perdida ou colhida com qualidade de produção inferior para a indústria alimentícia e a farinha obtida

desses grãos pode possuir baixo Falling Number (FN), ou seja, apresenta alta atividade da enzima alfa-amilase que pode comprometer a qualidade tecnológica dos produtos panificáveis. Desta forma, a farinha de trigo extraída de grãos de qualidade inferior, com baixo FN, pode ser uma alternativa para produção de filmes biodegradáveis por extrusão termoplástica.

Grande parte dos estudos relatam a produção de filmes a partir do amido de trigo pela técnica de casting (BASIAK; GALUS; LENART, 2015; BONILLA et al., 2013) e poucos trabalhos relatam a produção de filmes de farinha de trigo por extrusão termoplástica. Benincasa et al. (2017) e Puglia et al. (2016) buscaram correlacionar os parâmetros de alveografia e o teor de proteína com as propriedades mecânicas de filmes extrusados de farinha de trigo. No geral, os autores concluíram que os parâmetros alveográficos da farinha interferem nas propriedades mecânicas dos filmes. Entretanto, os autores ressaltam a importância de considerar outros fatores como o ano de cultivo, a cultivar e a forma de processamento do trigo.

Uma alternativa para melhorar as propriedades funcionais dos filmes de farinha de trigo é a realização de blendas com outros biopolímeros, como o poli (adipato co-tereftalato de butileno) (PBAT). O PBAT é um poliéster aromático-alifático que pode ser degradado dentro de poucas semanas por enzimas e microorganismos naturalmente presentes no meio ambiente. Pela sua capacidade de formar filmes com elevada resistência mecânica, tem sido utilizado na produção de blendas com amido (ANDRADE-MOLINA et al., 2013; GARCIA et al., 2014; OLIVATO et al., 2013), farinha de aveia (BARBIN et al., 2015) e também com poliéster biodegradável como o ácido polilático (SHIRAI et al., 2013).

Considerando que não foram encontrados trabalhos que relatam a produção de filmes de farinha de trigo e PBAT por extrusão termoplástica, o objetivo deste trabalho foi produzir filmes por extrusão sopro em balão a partir de farinha de trigo com diferentes valores de FN, glicerol e PBAT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Para a produção dos filmes foram utilizados o polímero biodegradável poli (adipato co-tereftalato de butileno) (PBAT) de nome comercial Ecoflex® (BASF, Brasil), trigo (Vilma Alimentos, Brasil) e glicerol (Dinâmica, Brasil).

2.2 OBTENÇÃO DA FARINHA DE TRIGO

A amostra de trigo escolhida para obtenção da farinha foi selecionada a partir do número de queda ou falling number (FN), pois o objetivo foi selecionar dois diferentes tipos de trigo, com falling number baixo, 184 s (baixo, FNB), ou seja, um trigo com valor considerado fora de classificação e que não é de interesse para a indústria de panificação, e com falling number alto, 364 s (alto, FNA).

As amostras de trigo foram previamente selecionadas, limpas e realizou-se a análise de umidade dos grãos de trigo no determinador GAC 2100 Dickey-John. Seguiu-se com o processo de umidificação, adicionando-se água até atingir a umidade ideal (15,5%) para moagem e condicionou-se as amostras de trigo em recipientes herméticos no período de 24 horas para garantir a sua total hidratação. Em seguida, foi realizado a moagem dos trigos em moinho experimental Choppin, modelo CD 1, e as farinhas obtidas foram armazenadas em sacos plásticos herméticos até o momento de seu uso.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE TRIGO

A análise de umidade foi realizada em estufa com circulação de ar com temperatura de $130 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 1 hora de acordo com o método nº 44-15A da AACC (1995).

As análises de cor das farinhas foram realizadas utilizando um colorímetro Konica Minolta (modelo CR 410), com iluminante D_{65} , obtendo-se os parâmetros L^* (branco-preto), a^* (vermelho-verde) e b^* (amarelo-azul).

As propriedades viscoelásticas foram determinadas em Alveógrafo Chopin de acordo com o método nº 54-30 da AACC (1995). Os parâmetros avaliados foram tenacidade (P), extensibilidade (L) e força geral do glúten ($W \times 10^{-4}$ J).

2.4 PRODUÇÃO DOS FILMES POR EXTRUSÃO SOPRO

A formulação dos filmes consistiu de 46% (m/m) de farinha de trigo, 40% (m/m) de PBAT e 14% (m/m) de glicerol e foram processadas em uma extrusora monorosca piloto, marca BGM (modelo EL-25, Brasil), composta de rosca de 25 mm de diâmetro ($L/D = 30$). Os filmes foram preparados em duas etapas. Na primeira etapa, todos os ingredientes da formulação foram pesados e manualmente misturados. A mistura foi alimentada na extrusora acoplada a uma matriz com seis orifícios de 2 mm de diâmetro e o perfil de temperatura nas 4 zonas de aquecimento foi de 90/120/120/100°C e velocidade do parafuso de 35 rpm. Os perfis cilíndricos foram peletizados e novamente alimentados à extrusora para a produção dos filmes. Nesta etapa, foi acoplada uma

matriz anelar de 50 mm de diâmetro, com um sistema de sopro interno e externo (diâmetro 150 e 300 mm), sendo que o sopro interno é utilizado para formação do balão e o ar externo para resfriamento.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

Os filmes foram avaliados quanto a homogeneidade, manuseabilidade e continuidade. A espessura dos filmes foi determinada utilizando um micrômetro digital e a média aritmética de três pontos medidos aleatoriamente sobre a superfície do filme. Antes das análises de caracterização, os filmes foram condicionados em temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) e 53% de umidade relativa (URE) por no mínimo três dias.

2.5.1 Determinação de cor e opacidade

A cor dos filmes foi medida em colorímetro Konica Minolta, modelo CR-410, com iluminante D_{65} (luz do dia) e os parâmetros obtidos foram L^* que varia de 0 (preto) a 100 (branco), a^* que varia do verde (-) ao vermelho (+) e b^* que varia do azul (-) ao amarelo (+). Foram realizadas cinco leituras subsequentes para cada amostra.

A opacidade aparente dos filmes foi determinada pela utilização de um colorímetro (BYK Gardner, Alemanha) empregando-se iluminante D_{65} e ângulo visual 10° . Segundo a metodologia descrita por Sobral (2000) a opacidade foi calculada a partir da relação sobre leituras do parâmetro L^* feitas sobre fundo branco e preto, conforme a Equação 1. As análises foram realizadas em triplicata.

$$Y(\%) = \frac{Y_p}{Y_b} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: Y: Opacidade; Y_p : Luminosidade sobre o fundo preto e Y_b : Luminosidade sobre fundo branco. Uma vez que as amostras não apresentaram a mesma espessura, a opacidade aparente foi dividida pela espessura média para que pudessem ser feitas as devidas comparações. As determinações foram realizadas em triplicata e os resultados obtidos expressos em escala de 0 a $1\% \cdot \mu\text{m}^{-1}$.

2.5.2 Propriedades mecânicas

Para os testes de tração e perfuração foi utilizado um texturômetro (Stable Micro Systems, modelo TA-TX2, Inglaterra). Para o teste de tração, foram determinadas as propriedades de

resistência máxima de tração (MPa) alongamento na ruptura (%) e módulo de elasticidade ou de Young (MPa) de acordo com as normas da American Society for Testing and Material (ASTM D882-12, 2012). O teste de perfuração foi utilizado para determinar a força (N) e a deformação (mm) das amostras sendo realizado de acordo com Sarantópoulos et al. (2002) com algumas modificações.

2.5.3 Permeabilidade ao vapor de água

As análises de permeabilidade de vapor de água foram feitas segundo norma E 96-00 da ASTM (2000). Cada filme foi fixado na abertura circular de 60 mm de diâmetro da cápsula de alumínio, vedados com graxa de silicone de modo a garantir que a migração de umidade ocorresse exclusivamente através do filme. O interior das cápsulas foi previamente preenchido com sílica gel (~ 0% UR) e o sistema foi condicionado em dessecador contendo solução de cloreto de sódio saturado (NaCl - 75% UR). Periodicamente, foram feitas pesagens da cápsula com o filme em balança semi analítica até a obtenção de uma taxa constante de ganho de massa. O ganho de massa (g) foi plotado em função do tempo (h) e, a partir de regressão linear no regime constante, foi determinado o coeficiente angular (g/t), e calculada a taxa de permeabilidade ao vapor de água (TPVA). A determinação da permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi feita de acordo com a Equação 2.

$$(Equação 2) \quad PVA = \frac{g}{t} \cdot \frac{\varepsilon}{A \cdot \Delta P}$$

Onde: g/t = coeficiente angular (g/h); A = área de permeação (m²); ε = espessura média dos filmes (m) e ΔP = diferença de pressão de vapor de água (kPa) entre as superfícies do corpo de prova.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a comparação entre as médias utilizou-se o teste t-Student ao nível de 5% de significância (p<0,05).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE TRIGO

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da caracterização da farinha de trigo utilizada na formulação do filme. Os valores de FN foram de 198 segundos (FNB) e 364 segundos (FNA),

segundo a Instrução Normativa 38/2010 do MAPA (Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Trigo) classifica FNB como trigo para outros usos, enquanto o FNA pode ser classificado como trigo melhorador (BRASIL, 2010). O teor de umidade foi de 15,6 % e 15,4 % para FNB e FNA, respectivamente, valor máximo permitido pela legislação vigente no país. A Instrução Normativa 8/2005 do MAPA, denominada Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo estabelece que as farinhas de trigo podem apresentar uma umidade máxima de até 15 % (BRASIL, 2005).

Tabela 1 – Valores de FN, umidade e cor da farinha de trigo.

Farinha de trigo	FN (s)	Umidade (%)	Cor		
			L*	a*	b*
FNB	198	15,6	91,18 ± 0,04 ^a	0,77 ± 0,03 ^b	9,13 ± 0,01 ^b
FNA	364	15,4	92,64 ± 0,03 ^b	0,11 ± 0,01 ^a	8,56 ± 0,08 ^a

FNB = farinha de trigo com falling number baixo; FNA = farinha de trigo com falling number alto.

^{a,b} Letras diferentes na coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste T de Student.

As amostras de farinha de trigo apresentaram diferenças significativas para todos os parâmetros de cor (L*, a* e b*). As cores das farinhas variaram de 91,18 ± 0,04 a 92,64 ± 0,03 para o parâmetro de luminosidade (L*), sendo que, quanto mais próximo de 100 mais branca a farinha. O parâmetro a* variou de 0,11 ± 0,01 a 0,77 ± 0,03 indicando uma tendência da cor para tonalidade vermelha, e para o parâmetro b* foram de 8,56 ± 0,08 a 9,13 ± 0,01, refletindo na tendência da cor para tonalidade amarela. De modo geral, a farinha de FNA apresentou melhores parâmetros de cor; segundo as características sensoriais das farinhas de trigo, sua cor deve ser branca, com tons leves de amarelo, marrom ou cinza, dependendo do trigo que essa farinha se origina (BRASIL, 1996).

A alveografia é um teste reológico usado para a determinação de características qualitativas da farinha de trigo, por meio da determinação dos parâmetros de relação elasticidade e extensibilidade (P/L) e força geral do glúten ($W \times 10^{-4}$ J). Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da análise de alveografia.

Tabela 2 - Valores de tenacidade (P), extensibilidade (L) e força geral do glúten (W) das farinhas de trigo.

Farinha de trigo	P (mm)	L (mm)	P/L (mm)	W (10^{-4} Joules)
FNB	96,66 ± 2,52 ^a	91,66 ± 1,53 ^a	1,05 ± 0,04 ^a	321 ± 14,00 ^a
FNA	111,66 ± 4,04 ^b	79,33 ± 5,13 ^b	1,41 ± 0,09 ^b	360 ± 23,76 ^a

FNB = farinha de trigo com falling number baixo; FNA = farinha de trigo com falling number alto.

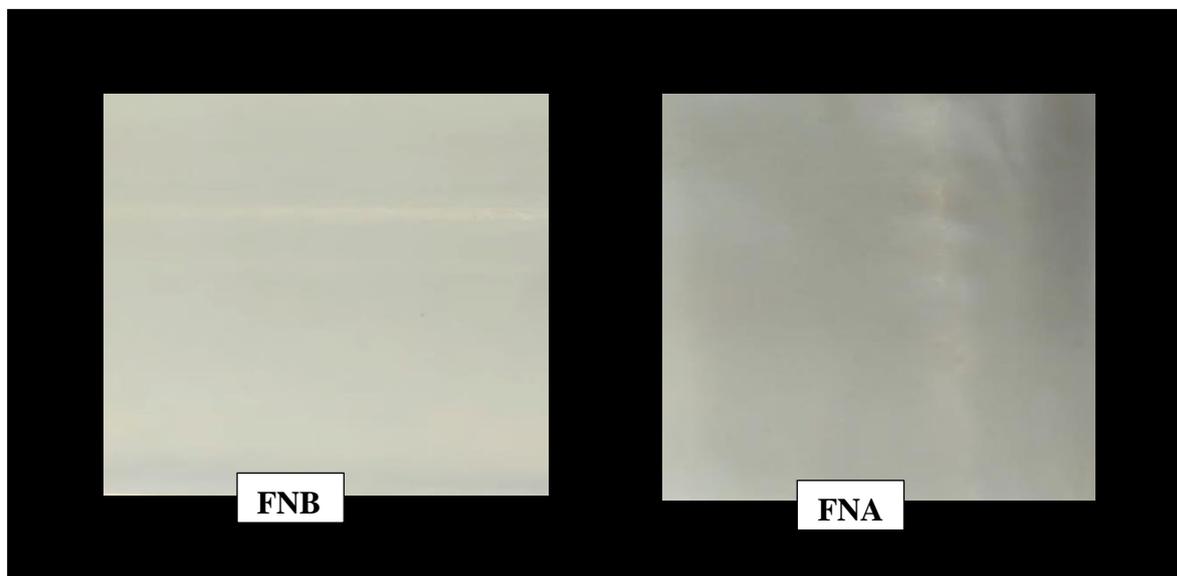
^{a,b} Letras diferentes na coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste T de Student.

As farinhas apresentaram diferenças significativas para todos os parâmetros alveográficos (P, L e P/L) exceto para a força geral do glúten (W). Para o parâmetro de tenacidade (P), este variou de $69,66 \pm 2,52$ a $111,66 \pm 4,04$ mm, e a extensibilidade (L) teve uma variação de $79,33 \pm 5,13$ a $91,66 \pm 1,53$ mm. As farinhas apresentaram valor de P/L de $1,05 \pm 0,04$ a $1,41 \pm 0,09$ podendo ser classificada como de glúten equilibrado para produtos de panificação (NITZKE; THYS, 2020). A força geral do glúten variou de $321 \pm 14,00$ a $360 \pm 23,76 \times 10^{-4}$ J, sendo valores elevados mesmo para farinha com FN baixo, demonstrando que a alta atividade das alfa amilases não interferem nos valores de W das farinhas. Os valores de W obtidos neste trabalho foram próximos ao reportado por Lanzarini et al. (2020).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES PRODUZIDOS POR EXTRUSÃO SOPRO

Os filmes apresentaram-se de coloração branca levemente amarelada, opacos, homogêneos e de boa manuseabilidade, sem presença de bolhas ou rachaduras na superfície (Figura 1). Não houve diferença significativa entre as espessuras dos filmes, sendo de $157,11 \pm 21$ μm para o filme de FN baixo e $156,67 \pm 22$ μm para o filme de FN alto.

Figura 1 – Fotografia dos filmes de farinha de trigo com baixo falling number (FNB) e alto falling number (FNA) e PBAT.



Os resultados de cor, opacidade e permeabilidade dos filmes estão descritos na Tabela 3. Os filmes apresentaram diferença significativa para todos os parâmetros (L^* , a^* e b^*). Os filmes apresentaram luminosidade (L^*) menor que as respectivas farinhas usadas na formulação, sendo de $88,48 \pm 0,54$ para FNB e $89,31 \pm 0,40$ para FNA. O valor de L^* dos filmes foi menor que o reportado

por Silva et al. (2019) em filmes de amido de mandioca e PBAT (70:30) produzidos por extrusão sopro (94,84) e isso está relacionado ao uso de farinha de trigo. A cor mais escura dos filmes deste trabalho evidenciam a ocorrência de reação de Maillard entre as proteínas e carboidratos presentes na farinha de trigo e o emprego de uma temperatura de processamento elevada (130°C). Os parâmetros a^* e b^* do filme FNB foram maiores, indicando maior predominância de coloração vermelho e amarelo para esta amostra. Estudos revelam que filmes a base de farinha tendem a ter coloração amarela mais intensa em comparação aos materiais feitos de amido (ANDRADE-MAHECHA; TAPIA-BLÁCIDO; MENEGALLI, 2012; PELISSARI et al., 2013; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2007) e isto está relacionado à presença de proteínas.

Tabela 3 - Cor, opacidade aparente e permeabilidade ao vapor de água dos filmes de farinha de trigo.

Filme	Cor			Opacidade (%. μm^{-1})	PVA x 10 ⁷ (g.m ⁻¹ .h ⁻¹ .Pa ⁻¹)
	L*	a*	b*		
FNB	88,48 ± 0,54 ^a	0,23 ± 0,06 ^b	7,84 ± 1,14 ^b	0,42 ± 0,015 ^a	3,65 ± 0,10 ^a
FNA	89,31 ± 0,40 ^b	0,004 ± 0,10 ^a	5,92 ± 1,06 ^a	0,40 ± 0,013 ^a	3,74 ± 0,56 ^a

FNB = farinha de trigo com falling number baixo; FNA = farinha de trigo com falling number alto.

^{a,b} Letras diferentes na coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste T de Student.

Com relação à opacidade aparente dos filmes não houve diferença significativa, apresentando uma opacidade de $0,42 \pm 0,015 \text{ \%} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ para os filmes de FNB e $0,40 \pm 0,013 \text{ \%} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ para os filmes de FNA. A opacidade dos filmes de farinha de trigo e PBAT apresentam valores inferiores quando comparados com filmes de amido e PBAT. Em trabalho de Shirai et al., (2013) foi encontrado o valor de $0,67 \pm 0,05 \text{ \%} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ para opacidade aparente. Sousa et al., (2013) também verificaram valores mais elevados de opacidade ($0,74 \pm 0,02 \text{ \%} \cdot \mu\text{m}^{-1}$) para filmes de farinha de arroz e PBAT. Filmes produzidos apenas com amido, PBAT e glicerol apresentam uma compactação das cadeias poliméricas dificultando a passagem da luz através da matriz do filme, resultando em filmes mais opacos (SOUSA et al., 2013).

A PVA dos filmes variaram de $3,65 \pm 0,01 \times 10^{-7}$ a $3,74 \pm 0,56 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$, não apresentando diferença significativa. Estes resultados são menores do que aqueles reportados por Shirai et al. (2013) ($5,9 \pm 0,4 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$) em filmes de amido de mandioca e PBAT e por Sousa et al. (2013) em filmes de farinha de arroz e PBAT ($5,0 \pm 0,5 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$), todos produzidos por extrusão sopro, e podem ser justificados pela presença das proteínas e lipídeos na farinha de trigo, que devem ter colaborado na formação de uma rede mais densa e hidrofóbica, diminuindo a permeabilidade ao vapor de água dos filmes, comparados aos da literatura.

Com relação às propriedades mecânicas (Tabela 4), para o teste de tração, apenas o alongamento na ruptura apresentou diferença significativa ($559 \pm 65,69$ % para filmes FNB e $420 \pm 62,44$ % para filmes FNA).

Tabela 4 - Propriedades mecânicas de filmes de farinha de trigo.

Film	Tração			Perfuração	
	T (MPa)	ϵ (%)	MY (MPa)	F (N)	D (mm)
FNL	$7,19 \pm 0,87^a$	$559 \pm 65,69^a$	$34,59 \pm 4,22^a$	$18,56 \pm 1,55^a$	$6,78 \pm 1,06^a$
FNH	$6,52 \pm 0,85^a$	$420 \pm 62,44^b$	$38,69 \pm 6,28^a$	$20,43 \pm 2,89^a$	$6,88 \pm 0,58^a$

Farinha de trigo com falling number baixo (FNB); Farinha de trigo com falling number alto (FNA); Resistência à tração (T); Elongação a ruptura (ϵ); módulo de Young (MY); força (F) e deformação (D).

^{a,b} Letras diferentes na coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste T de Student.

O filme produzido neste trabalho a base de farinha de trigo e PBAT apresentou valores mais altos de resistência à tração (T), alongação (ϵ) e módulo de Young (MY) quando comparado com filmes de amido de mandioca e PBAT. Em trabalho de Shirai et al. (2013), foi obtido valores de T de $4,7 \pm 0,4$ MPa, valores de ϵ de 395 ± 49 % e MY de 28 ± 4 MPa para filmes de amido/PBAT (60:40). Sousa et al. (2013) verificaram valores similares de T ($7,1 \pm 1,0$ MPa) e valores mais baixos de ϵ (300 ± 50 %), para filmes de farinha de arroz/PBAT (60:40) e encontraram valores superiores para MY (89 ± 14 MPa). Isso pode indicar que os filmes de farinha de trigo são mais flexíveis, isto é, possuem maior alongamento na deformação de ruptura. Esses resultados confirmam que as proteínas e lipídios presentes nos filmes de farinha de trigo podem colaborar com o efeito plastificante (PELLISSARI et al., 2013). Os filmes de farinha de trigo e PBAT obtidos no presente trabalho apresentaram propriedades mecânicas superiores aos filmes produzidos apenas com farinha de trigo, com valores de T e ϵ aproximadamente três vezes maiores (PUGLIA et al., 2016; BENINCASA et al., 2017), muito provavelmente pela blenda com o PBAT e à boa interação da farinha com este.

Para o teste de perfuração, a força na ruptura dos filmes não apresentou diferença significativa, variando de $18,56 \pm 1,55$ a $20,43 \pm 2,89$ N para filmes de FNB e FNA, respectivamente. A deformação dos filmes quando sujeitos a um objeto pontiagudo, variou de $6,78 \pm 1,06$ à $6,88 \pm 0,58$ mm para filmes de FNB e FNA, respectivamente. O teste de perfuração é uma caracterização importante, especialmente no caso da necessidade do acondicionamento de produtos pontiagudos.

4 CONCLUSÃO

O uso de farinhas com diferentes falling number não interferem nas propriedades dos filmes produzidos por extrusão sopro em balão, evidenciando o interesse pela utilização da farinha de trigo de baixo falling number como uma alternativa para produção de embalagens biodegradáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (processo nº 420055 / 2018-5) pelo auxílio financeiro e à empresa Vilma Alimentos pela doação das amostras de trigo.

REFERÊNCIAS

American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9. ed. Saint Paul: v. 2. AACC, 1995.

Andrade-Mahecha, M. M.; Tapia-Blácido, D. R.; Menegalli, F. C. Development and optimization of biodegradable films based on achira flour. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 2 p. 449-458, 2012.

Andrade-Molina, T. P. C.; Shirai, M. A.; Grossmann, M. V. E.; Yamashita, F. Active biodegradable packaging for fresh pasta. **LWT – Food Science and Technology**, v. 54, p. 25-29, 2013.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standard test methods for water vapor transmission of material (E96-00). **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: ASTM, 2000.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Terminology relating to plastics (D883-12e1). **Annual Book of ASTM Standards**. West Conshohocken: ASTM, 2012.

Barbin, D. F.; Valous, N. A.; Dias, A. P.; Camisa, J.; Hirooka, E. Y.; Yamashita, F. VIS–NIR spectroscopy as a process analytical technology for compositional characterization of film biopolymers and correlation with their mechanical properties. **Materials Science and Engineering: C**, 56, 274–279. 215.

Basiak, E.; Galus, S.; Lenart, A. Characterisation of composite edible films based on wheat starch and whey-protein isolate. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 372–380, 2015.

Benincasa, P.; Dominici, F.; Bocci, L.; Governatori, C.; Panfili, I.; Torre, L.; Tosti, G.; Puglia, D. Relationships between wheat flour baking properties and tensile characteristics of derived thermoplastic films. **Industrial Crops and Products**, v. 100, p. 138–145, 2017.

Bonilla, J.; Talón, E.; Atarés, L.; Vargas, M.; Chiralt, A. Effect of the incorporation of antioxidants on physicochemical and antioxidant properties of wheat starch-chitosan films. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 3, p. 271–278, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução CNNPA nº 12, de 1978, foi revogado pela Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996. Aprova o regulamento técnico sobre a maneira que a farinha de trigo deve ser produzida. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 jul. 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 105, p. 91, 3 jun. 2005. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Regulamento técnico do trigo. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1 dez. 2010. Seção 1, p. 2

Garcia, P. S.; Grossmann, M. V. E.; Shirai, M. A.; Lazaretti, M. M.; Yamashita, F.; Muller, C. M. O.; Mali, S. Improving action of citric acid as compatibiliser in starch/polyester blown films. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 305–312, 2014.

Lanzarini, D. P.; Martins, R. C.; Rauen, T. G.; Bravo, C. E. C.; Pinto, E. P. Controle de qualidade aplicado a farinha de trigo panificável produzida em moinhos do estado do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 16919-16929, 2020.

Nitzke, Julio. A; Thys, Roberta. C.S. Avaliação da Qualidade Tecnológica / Industrial da Farinha de Trigo. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos – ICTA, 2020. Disponível em: <www.ufrgs.br/napead/projetos/avaliacao-farinha-trigo/creditos.php>. Acesso em: 30 de abril de 2020.

Olivato, J. B.; Nobrega, M. M.; Müller, C. M. O.; Shirai, M. A.; Yamashita, F.; Grossmann, M. V. E. Mixture design applied for the study of the tartaric acid effect on starch/polyester films. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 2, p. 1705–1710, 2013.

Pelissari, F. M.; Andrade-Mahecha, M. M.; Sobral, P. J. do A.; Menegalli, F. C. Optimization of process conditions for the production of films based on the flour from plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 1-11, 2013.

Puglia, D.; Dominici, F.; Kenny, J. M.; Santulli, C.; Governatori, C.; Tosti, G.; Benincasa, P. Tensile behaviour of thermoplastic films from wheat flours as function of raw material baking properties. **Journal of Polymer and Environment**, v. 24, p. 37–47, 2016.

Sarantópoulos, C. I. G. L.; Oliveira, L. M.; Padula, M.; Coltro, L.; Alves, R. M. V.; Garcia, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis - Principais Polímeros e Avaliação de Propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 265 p. 2002.

Shirai, M. A., Olivato, J. B., Garcia, P. S., Müller, C. M. O., Grossmann, M. V. E., Yamashita, F. Thermoplastic starch/polyester films: Effects of extrusion process and poly (lactic acid) addition. **Materials Science and Engineering: C**, 33(7), 4112–4117. 2013.

Silva, T. B. V.; Moreira, T. F. M.; Oliveira, A.; Bilck, A.P.; Gonçalves, O. H.; Ferreira, I. C. F. R.; Barros, L.; Barreiro, M. F.; Yamashita, F.; Shirai, M. A.; Leimann, F. V. *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze extract as a source of phenolic compounds in TPS/PBAT active films, **Food & Function**, v. 10, p. 7697-7706, 2019.

Sousa, G. M., Soares Júnior, M. S., Yamashita, F. Active biodegradable films produced with blends of rice flour and poly(butylene adipate co-terephthalate): Effect of potassium sorbate on film characteristics. **Materials Science and Engineering: C**, 33(6), 3153–3159. 2013.

Sobral, P. J. A. **Proteínas de origem animal na tecnologia de biofilmes**. Tese de Livre Docência. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de São Paulo, 2000.

Tapia-Blácido, D. R., Mauri, A. N., Menegalli, F. C., Sobral, P. J. A., Añón, M. C. Contribution of the starch, protein, and lipid fractions to the physical, thermal, and structural properties of amaranth (*Amaranthus caudatus*) flour films. **Journal of Food Science**, 72(5), E293-E300. 2007.