

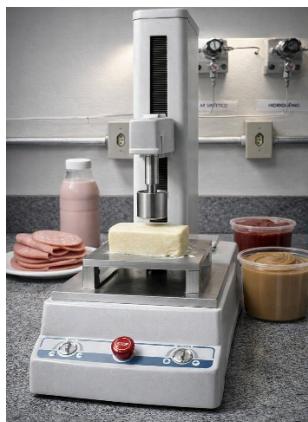
ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE EQUIPAMENTO PILOTO PARA ANÁLISE DE TEXTURA EM ALIMENTOS

Juliana Allievi, Cláudio R. Novello, Jonas J. Radtke, Rafael Cazarotto, Luciano Lucchetta, Guilherme Bertoldo

¹Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos (PPGTAL-FB/LD), Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Francisco Beltrão-PR

Contato/email: juliana.allievi@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18697791>



Equipamento piloto de análise de textura com viabilidade técnica equivalente a equipamentos comerciais, como alternativa acessível para controle de qualidade em pequenas e médias empresas indústrias.

INTRODUÇÃO

A textura dos alimentos, juntamente com aparência e sabor, determina a aceitação do consumidor e padronização da qualidade industrial (Liu *et al.*, 2019). Embora a análise sensorial seja amplamente utilizada, ela apresenta limitações associadas à subjetividade, ao tempo de execução e à fadiga dos avaliadores (Nishinari & Fang, 2018). Em contraste, os métodos instrumentais oferecem maior objetividade ao reproduzir o comportamento mecânico da mastigação humana (Chen & Opara, 2013).

Dentre esses métodos instrumentais, destaca-se a Análise de Perfil de Textura (TPA) realizada em texturômetros, a qual simula uma mastigação dupla e permite a quantificação simultânea de atributos como dureza, fraturabilidade, elasticidade, coesividade, adesividade, resiliência, gomosidade e mastigabilidade (Chen & Opara, 2013; Lis *et al.*, 2021). Entretanto, os elevados custos de aquisição e manutenção dos texturômetros comerciais limitam sua aplicação por pequenas e médias empresas (PME) (Gupta *et al.*, 2016).

A TPA baseia-se na obtenção de curvas força vs tempo através da compressão de um alimento por meio de uma sonda, sendo fundamental a adequada definição de parâmetros como geometria da sonda, velocidade de deformação das amostras e distância sonda-amostra para garantir resultados

confiáveis, o que reforça a necessidade de validação metrológica, especialmente em equipamentos piloto (Liu *et al.*, 2019).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo demonstrar a viabilidade técnica de um texturômetro piloto, desenvolvido na UTFPR, para a realização de análises de Perfil de Textura (TPA) em alimentos, por meio da validação de etapas críticas como a avaliação inicial da precisão e da reproduutibilidade utilizando um Dispositivo de Teste de Compressão (DTC).

DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

Análise de Precisão e Reproduutibilidade

A avaliação da precisão e da reproduutibilidade foram conduzidas como uma etapa essencial da calibração inicial e validação do texturômetro piloto. As curvas médias de força e deformação, obtidas a partir de cinco repetições por tratamento — considerando-se variações nos parâmetros de deformação da amostra (D), velocidade de pré-teste (v_{pre}) e velocidade de teste (v_{tes}), que resultaram em 16 tratamentos no total — foram comparadas graficamente entre o equipamento piloto e dois instrumentos comerciais (TA.XT plus e TA.XT Express), por meio da análise ponto a ponto das médias e dos desvios-padrão ao longo do tempo.

A precisão foi determinada pelos desvios-padrão dos atributos de textura sob condições experimentais idênticas. Já a reproduutibilidade interinstrumental foi avaliada por meio de ANOVA e teste de Tukey (95% de confiança) comparando os três equipamentos. Essa abordagem integrada permitiu verificar a capacidade do equipamento piloto em reproduzir os resultados de referência e subsidiar sua calibração metrológica inicial.

Resultados e Discussões

Os dados da Tabela 1 demonstram que os três equipamentos apresentaram elevada precisão (desvio padrão < 0,01) para todos os atributos avaliados: dureza, elasticidade, coesividade, resiliência, gomosidade e mastigabilidade. Os atributos de fraturabilidade e adesividade foram excluídas por não serem aplicáveis ao comportamento predominantemente elástico do DTC (Figura 1).

Embora tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), os erros relativos mantiveram-se inferiores a 3%, o que evidencia equivalência funcional entre os equipamentos avaliados. Considerando que estudos de análise de incerteza em ensaios de tração e compressão relatam incertezas expandidas ($k \approx 2$) situadas entre 2% e 4% da grandeza medida, em função da propriedade analisada, do tipo de sensor e da configuração do ensaio, as discrepâncias observadas podem ser consideradas de baixa relevância prática. Dessa forma, essas diferenças não comprometem a equivalência metrológica entre os sistemas de medição investigados.

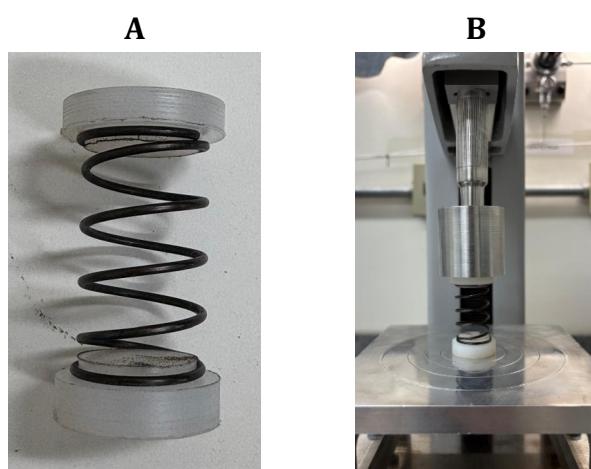
Tabela 1 - Atributos de textura obtidos com o Dispositivo de Teste de Compressão (DTC).

Atributo de Textura	Equipamento	Média ± Desvio padrão	Erro relativo (%)		ANOVA Nível de significância 5% (p-valor)
			Piloto x Equipamento comercial	-	
Dureza	Piloto	16,097 ± 0,010	c	-	6,6721e-19
	TA.XT Express	16,506 ± 0,002	a	2,478%	
	TA.XT plus	16,467 ± 0,005	b	2,247%	
Elasticidade	Piloto	0,9969 ± 0,0011	b	-	0,0001115
	TA.XT Express	1,0008 ± 0,0011	a	0,390%	
	TA.XT plus	0,9996 ± 0,0005	a	0,270%	
Coesividade	Piloto	1,0001 ± 0,0002	a	-	3,7258e-07
	TA.XT Express	0,99972 ± 0,00012	b	0,038%	
	TA.XT plus	0,99886 ± 0,00012	c	0,124%	
Resiliência	Piloto	1,0014 ± 0,0008	b	-	1,7356e-17
	TA.XT Express	1,01700 ± 0,00004	a	1,534%	
	TA.XT plus	0,99273 ± 0,00015	c	0,873%	
Gomosidade	Piloto	16,098 ± 0,013	a	-	3,1367e-17
	TA.XT Express	16,502 ± 0,004	b	2,448%	
	TA.XT plus	16,449 ± 0,006	c	2,134%	
Mastigabilidade	Piloto	16,049 ± 0,012	c	-	1,1109e-14
	TA.XT Express	16,515 ± 0,02	a	2,822%	
	TA.XT plus	16,442 ± 0,014	b	2,390%	

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Dados de operação dos equipamentos para o tratamento 6: velocidade de pré-teste - v_{pre} = 0,5 mm/s, velocidade de teste - v_{tes} = 2 mm/s e deslocamento D = 10mm.

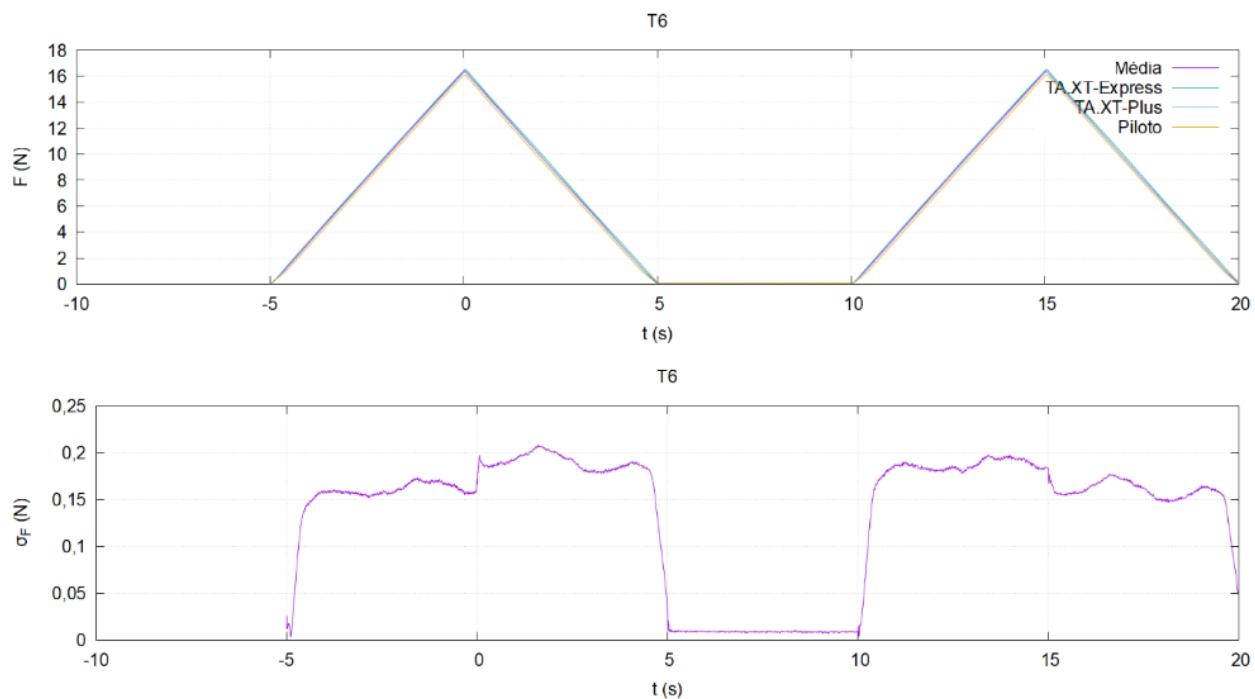
Nota: Médias seguidas por letras minúsculas distintas indicam diferença significativa (Tukey, p<0,05).

Figura 1 - Dispositivo de Teste de Compressão (DTC) (A), e utilização durante teste de TPA em equipamento piloto (B).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na Figura 2 é apresentada uma análise comparativa robusta do Tratamento 6, mostrando sobreposição total das curvas força vs. tempo (gráfico superior) dos três equipamentos — piloto, TA.XT Plus e TA.XT Express — obtidas de 5 repetições cada. As curvas médias, calculadas ponto a ponto, coincidem perfeitamente durante as duas compressões TPA, confirmando linearidade, repetibilidade e estabilidade idênticas aos padrões comerciais. Já no gráfico inferior, a evolução temporal do desvio-padrão evidencia baixa dispersão e controle excelente de carga ao longo de todo o ciclo compressão-descompressão. Esta uniformidade demonstra elevada reprodutibilidade interinstrumental.

Figura 2 - Representação gráfica de $F(N)$ vs $t(s)$ das duas compressões do TPA para o tratamento 6.



Fonte: Elaborado pelos autores através do *Software Gnuplot* (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou a viabilidade técnica e metrológica do texturômetro piloto para análises de Análise de Perfil de Textura (TPA) em alimentos. No pré-teste com Dispositivo de Teste de Compressão (DTC), o equipamento apresentou erros relativos inferiores a 3% frente aos texturômetros comerciais TA.XT Plus e TA.XT Express, com curvas força vs tempo praticamente sobrepostas, baixa dispersão das forças e estabilidade dos desvios-padrão, reforçando a reprodutibilidade interinstrumental. Os resultados iniciais confirmam desempenho compatível com sistemas comerciais consolidados, constituindo alternativa tecnologicamente viável, de menor custo e com alto potencial de transferência tecnológica para laboratórios de pesquisa e controle de qualidade na indústria de alimentos.

O processo de validação total de equipamentos como o texturômetro, exige outras duas etapas finais. As etapas subsequentes de projetos do equipamento preveem a repetição dos ensaios de precisão e reproduzibilidade com amostras padrões semissólidos de hidroxietilcelulose (HEC) e, posteriormente, a avaliação do equipamento com cinco matrizes alimentares reais. Neste caso pode-se considerar como matrizes o queijo mussarela, mortadela, iogurte, goiabada e doce de leite — caracterizadas por maior heterogeneidade estrutural e complexidade mecânica. Essa etapa final permitirá consolidar a validação sob condições experimentais mais desafiadoras, determinar a resolução prática do sistema e confirmar sua aplicabilidade em rotinas industriais de controle de qualidade.

REFERÊNCIAS

- CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods: a review. **Food Research International**, [S.L.], v. 51, n. 2, p. 823-835, maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.046>.
- GUPTA, Gourab Sen *et al.* Towards the development of a low-cost food texture analyser. **IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings**, [S.L.], p. 1-6, maio 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/i2mtc.2016.7520435>.
- LIS, Anna *et al.* A comparison of butter texture measurements with the AP 4/2 penetrometer and TA.XT. Plus texture analyzer. **International Journal Of Food Properties**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 1744-1757, jan. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2021.1999262>.
- LIU, Yi-Xiang *et al.* Texture analyzers for food quality evaluation. In: ZHONG, Jian; WANG, Xichang. **Evaluation Technologies for Food Quality**. Si: Elsevier Inc., 2019. Cap. 17. p. 441-463.
- NISHINARI, K.; FANG, Y. Perception and measurement of food texture: solid foods. **Journal of Texture Studies**, Beijing, v. 49, n. 2, p. 160-201, jan. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jtxs.12327>.