



EFEITOS DA COCÇÃO POR CALOR ÚMIDO, PIPOQUEAMENTO E EXTRUSÃO SOBRE A BIOACESSIBILIDADE DE COMPOSTOS BIOATIVOS, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E RESPOSTA GLICÊMICA DO SORGO COM E SEM TANINOS

Etiene V. AGUIAR¹, Valéria A. V. QUEIROZ², Cícero B. MENEZES², Carlos W. P. CARVALHO³, Rosana A. M. S. FREITAS⁴, Geni R. SAMPAIO⁴, Elizabeth A. F. S. TORRES⁴, Vanessa D. CAPRILES^{1*}

¹Universidade Federal de São Paulo, Instituto Saúde e Sociedade, Unifesp.

²Embrapa Milho e Sorgo – Sete Lagoas, Minas Gerais.

³Embrapa Agroindústria de Alimentos – Quaratiba, Rio de Janeiro.

⁴Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, FSP/ USP.

*E-mail para correspondência: vanessa.capriles@unifesp.br

RESUMO: Há um interesse crescente no uso do grão de sorgo para a alimentação humana devido a sua composição nutricional e de bioativos e potenciais benefícios à saúde. No entanto, estudos sobre o processamento térmico do sorgo são escassos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da cocção por calor úmido (45 minutos na panela de pressão elétrica), pipoqueamento (pipoqueira elétrica após hidratação prévia dos grãos) e extrusão termoplástica em extrusora de rosca dupla na composição centesimal, digestibilidade do amido, bioacessibilidade de compostos bioativos (taninos, antocianinas e ácidos fenólicos), atividade antioxidante e resposta glicêmica do sorgo com (SCT) e sem taninos (SST). O SCT cru apresenta maiores teores de amido resistente (AR), compostos bioativos e atividade antioxidante do que SST. A cocção por calor úmido causou maior retenção de AR durante o processamento. Os produtos do SCT apresentaram maiores teores de compostos bioativos, enquanto os produtos do SST apresentaram maior bioacessibilidade desses compostos e maior atividade antioxidante após digestão *in vitro*. Não houve diferença na capacidade dos produtos de SCT e SST em inibir a atividade enzimática *in vitro* e nem na captação de glicose nas células Caco-2. As diferenças observadas não influenciaram no índice glicêmico e na carga glicêmica entre os produtos obtidos com SCT e com SST. Porém, comparados a outros cereais, os produtos de sorgo se destacam pelos maiores teores de proteínas, fibras e compostos bioativos e menor carga glicêmica. Portanto, o sorgo é um cereal que apresenta grande potencial para obtenção de produtos alimentícios com apelo nutricional.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench, amido resistente, ácidos fenólicos, antocianinas, índice glicêmico.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) ocupa o quinto lugar na produção mundial de cereais sendo utilizado principalmente para ração animal na maioria dos países. Tem havido um interesse crescente no uso do grão de sorgo para a alimentação humana devido ao seu potencial como um alimento funcional e sustentável (Hossain et al., 2022). Pesquisas realizadas na última década mostram o potencial do sorgo como ingrediente na preparação de uma variedade de alimentos, como bebidas, mingaus, massas, pães, bolos e biscoitos (Aguiar et al., 2023; Stefoska-Needham, 2024), sendo possível obter produtos de panificação e massas alimentícias com ou sem glúten, bem aceitos e com incremento de nutrientes e de compostos bioativos (Aguiar et al., 2023). Algumas pesquisas apontam o potencial do sorgo em atenuar a resposta glicêmica (Poquette, Xuan, Sun-Ok, 2014; Gallo et al., 2021; Pruett et al., 2023).

Considerando o potencial deste grão para promover a saúde humana e a segurança alimentar e nutricional, é necessário definir técnicas de processamento que viabilizem o seu consumo direto e uso como ingrediente alimentar, o que ainda é pouco explorado na literatura.



Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da cocção por calor úmido, pipoqueamento e extrusão termoplástica na composição nutricional, na digestibilidade do amido, na bioacessibilidade de compostos bioativos (taninos, antocianinas e ácidos fenólicos), na atividade antioxidante e na resposta glicêmica do sorgo com taninos (SCT) e do sorgo sem taninos (SST).

MATERIAL E MÉTODOS

Grãos de sorgo com taninos (SCT) (BRS 305 com pericarpo marrom) e sorgo sem taninos (SST) (BRS 373 com pericarpo bronze), produzidos pela Embrapa Milho e Sorgo, foram submetidos a cocção por calor úmido em panela de pressão elétrica (proporção de 50g de grão para 150g de água, cocção por 45 minutos na pressão após início de ebulição), pipoqueamento em pipoqueira elétrica após hidratação térmica prévia do grão (80ml de grão e 80ml de água) para diminuir a quantidade de piruás e extrusão em extrusora de rosca dupla Evolum HT 25 (velocidade do parafuso a 600 rpm, 14% de umidade, perfil de temperatura - 30, 30, 60, 90, 100, 100, 120, 120, 150 e 150 °C). O sorgo cru e processado foi avaliado quanto a composição centesimal (métodos da AOAC, 2005), e o perfil de digestibilidade do amido *in vitro* (Englyst et al., 1992). Os teores de taninos, antocianinas e ácidos fenólicos e a atividade antioxidante foram avaliados antes e após a digestão *in vitro* conforme método INFOGEST (Brodkorb et al., 2019). Foi avaliada a permeação de glicose em modelos de células Caco-2 conforme descrito por Silva et al. (2018), bem como a capacidade do sorgo após a digestão em inibir a atividade das enzimas α -amilase conforme método de Telagari and Hullati (2015) e α -glicosidase *in vitro* segundo Strelow et al. (2012) e Yan et al. (2018). Amostras do sorgo processado contendo 25 g de carboidratos disponíveis foram utilizadas para a avaliação da resposta glicêmica em 15 voluntários saudáveis (87% mulheres, idade média de 34 anos, IMC médio de 21,9 kg/m²), utilizando-se pão branco como alimento de referência. A avaliação do Índice Glicêmico (IG) e da Carga Glicêmica (CG) foram realizadas conforme descrito em Santos et al. (2021). O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos da Unifesp (No. 4.561.736). Os resultados foram apresentados como média e desvio padrão. Para comparar médias, foram aplicados a análise de variância (ANOVA) e o teste post-hoc de Tukey, adotando-se o nível de significância de $P < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grão cru de SCT apresentou, em base seca, níveis mais elevados de fibra alimentar (34,4g), amido resistente (AR) (41,1%), taninos (65,7 mg CE/g), fenólicos totais (22,7 mg GAE/g) e atividade antioxidante (332,5 μ mol TE/g) do que SST (fibra alimentar 30,0 g, AR 7,1%, taninos não detectados (ND), fenólicos totais 21,0 mg GAE/g, e atividade antioxidante 36,4 μ mol TE/g). As três técnicas de processamento térmico ocasionaram redução nos teores de fibra alimentar (SCT cozido 21,5 g, pipocado 24,2 g, extrusado 18,9 g - SST cozido 24,1 g, pipocado 17,9 g, extrusado 11,4 g) e de AR (SCT cozido 15,7%, pipocado 2,9%, extrusado 0,8% - SST cozido 6,6%, pipocado 0,7%, extrusado 0,1%), além de causar mudança na digestibilidade *in vitro* do amido, caracterizada pelo grande aumento na fração de amido rapidamente digerível (ARD) (SCT cru 7%, cozido 66,1%, pipocado 62,8%, extrusado 61,2% - SST cru 22,2%, cozido 65,6%, pipocado 63,4%, extrusado 58,6%). Dentre os processos, a cocção por calor úmido foi o que causou maior aumento de ARD e maior retenção de AR nos dois genótipos de sorgo. Para antocianinas os produtos do SCT apresentaram maiores níveis de luteolinidina (SCT cru 9,72 μ g/g, cozido ND, pipocado 1,3 μ g/g, extrusado 0,30 μ g/g - SST cru 4,70 μ g/g, cozido 0,87 μ g/g, pipocado 0,85 μ g/g, extrusado ND), enquanto os produtos do SST apresentaram maiores valores de apigeninidina (SCT cru 2,03 μ g/g, cozido ND, pipocado ND, extrusado ND - SST cru 5,69 μ g/g, cozido 0,67 μ g/g, pipocado 0,61 μ g/g, extrusado ND).

Apesar das perdas causadas pelo processamento, os produtos obtidos com o SCT apresentaram maiores teores de fibra alimentar, AR e de compostos bioativos (taninos e ácidos fenólicos) do que



os produtos à base de SST. Entretanto, os produtos à base de SST apresentaram maior bioacessibilidade de compostos bioativos e maior atividade antioxidante após a digestão *in vitro*. No entanto, não foram observadas diferenças na capacidade dos produtos de SCT e de SST em inibir a atividade das enzimas α -amilase e α -glicosidase *in vitro* e nem na captação de glicose no modelo de células Caco-2. Ou seja, a presença ou ausência de AR e de taninos não alterou a digestibilidade dos carboidratos disponíveis do sorgo e esses resultados foram confirmados na pesquisa clínica.

Não houve diferença significativa de IG entre os produtos obtidos com SCT e SST (Figura 1), sendo classificados como alimentos de alto IG, pois apresentaram $IG \geq 70$, com exceção do SCT cozido e pipocado que apresentou IG moderado.

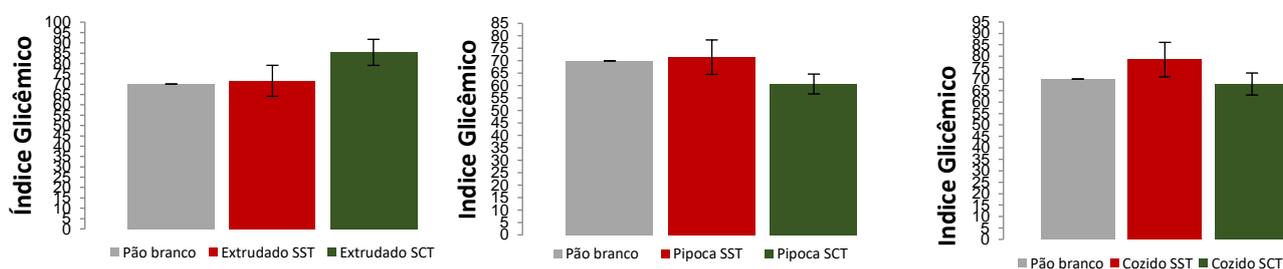


Figura 1. Índice glicêmico dos produtos obtidos com sorgo sem taninos (SST) e sorgo com taninos (SCT), em comparação ao controle (pão branco). Valores correspondem a média e erro padrão da média.

Em média, a CG para os produtos obtidos com sorgo foi 9,5 para cozido, 26 para a pipoca e 32 para o extrusado, considerando porções de consumo contendo 150g, 20g e 30g, respectivamente. O sorgo cozido apresenta baixa CG (CG <10) e os demais produtos alta CG (CG >20). No entanto, comparados a outros cereais, os produtos de sorgo se destacam pelos maiores teores de proteínas, fibras e compostos bioativos, além de menor IG e CG (Foster-Powell et al., 2002).

CONCLUSÃO

Apesar das diferenças no teor de fibras, amido resistente e de bioativos, não foram observadas diferenças na capacidade dos produtos de SCT e de SST em inibir a atividade das enzimas digestivas *in vitro* e nem na captação de glicose no modelo de células Caco-2 e na resposta glicêmica *in vivo*.

Assim, apesar de não haver influência na resposta glicêmica, produtos de sorgo se destacam de cereais como arroz e milho, devido a maiores teores de fibras, compostos bioativos e menor CG. Portanto, o sorgo é um cereal que apresenta grande potencial para obtenção de produtos alimentícios com apelo nutricional.

AGRADECIMENTOS

Este estudo contou com o financiamento da FAPESP (processo nº 2019/15359-0) e Embrapa Milho e Sorgo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL - AOAC. . In: AOAC (Ed.). Official methods of analysis. 18.ed. Gaithersburg: **AOAC International**, 2005.

ATKINSON, F. S., FOSTER-POWELL, K., & BRAND-MILLER, J. C. (2008). International tables of glycemic index and glycemic Load values. **Diabetes Care**, v.1, n.12, p.2281–2283, 2008. <https://doi.org/10.2337/dc08-1239>



- BRAND-MILLER, J. C. (2008). International tables of glycemic index and glycemic Load values. **Diabetes Care**, v.1, n.12, p.2281–2283, 2008. <https://doi.org/10.2337/dc08-1239>
- AGUIAR, E. V., SANTOS, F. G., QUEIROZ, V. A. V., CAPRILES, V. D. A Decade of Evidence of Sorghum Potential in the Development of Novel Food Products: Insights from a Bibliometric Analysis. **Foods**, v.12, n.20, 2023. <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/20/3790>
- BRODKORB, A., EGGER, L., ALMINGER, M., et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nature protocols**, v.14, n.4, p.991-1014, 2019. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30886367/>
- FOSTER-POWELL, K., HOLT, S. H., BRAND-MILLER, J. C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. **The American journal of clinical nutrition**, v.76, n.1, p.5-56, 2002 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12081815/>
- GALLO, L. R. R., REIS, C. E. G., MENDONÇA, M. A., DA SILVA, V. S. N., et al. Impact of gluten-free sorghum bread genotypes on glycemic and antioxidant responses in healthy adults. **Foods**, v.10, n.10, 2021. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34681305/>
- HOSSAIN, M. S., ISLAM, M. N., RAHMAN, M. N., MOSTOFA, M. G., KHAN, M. A. R. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. **Journal of Agriculture and Food Research**, v.8, 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154322000333>
- POQUETTE N. M., XUAN, G., SUN-OK, L. Grain sorghum muffin reduces glucose and insulin responses in men. **Food Function**, v.5, p.894-899, 2014. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24608948/>
- PRUETT, A., ARAMOUNI, F. M., BEAN, S. R., HAUB, M. D. Effect of Flour Particle Size on the Glycemic Index of Muffins Made from Whole Sorghum, Whole Corn, Brown Rice, Whole Wheat, or Refined Wheat Flours. **Foods**, v.12, n.23, 2023. <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/23/4188>
- SANTOS, F.G., AGUIAR, E.V., BRAGA, A.R., ALENCAR, N.M.M., ROSELL, C.M., CAPRILES, V.D. An integrated instrumental and sensory approach to describe the effects of chickpea flour, psyllium, and their combination at reducing gluten-free bread staling. **Food Packaging and Shelf Life**, v.28, 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289421000272>
- SILVA, C. P., SAMPAIO, G. R., FREITAS, R., TORRES, E. Polyphenols from guaraná after in vitro digestion: Evaluation of bioaccessibility and inhibition of activity of carbohydrate-hydrolyzing enzymes. **Food chemistry**, v.267, p.405–409, 2018. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29934184/>
- STEFOSKA-NEEDHAM, A. Sorghum and health: An overview of potential protective health effects. **Journal of Food Science**, 2024. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.16978>
- STRELOW, J.; DEWE, W.; IVERSEN, P.W.; et al. Mechanism of action assays for enzymes. In **Assay Guidance Manual**; Sittampalan, G., Coussens, N., Brimacombe, K., et al., Eds.; Eli Lilly & Co and the National Center for Advancing Translational Sciences: Bethesda, MD, USA, 2012
- TELAGARI, M., HULLATTI, K. In-vitro α -amylase and α -glucosidase inhibitory activity of *Adiantum caudatum* Linn. and *Celosia argentea* Linn. extracts and fractions. **Indian journal of pharmacology**, v.47, n.4, p.425-429, 2015. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26288477/>
- YAN, S. S., SHAO, H. J., ZHOU, Z. H., WANG, Q., ZHAO, L. H., YANG, X.B. Non-extractable polyphenols of green tea and their antioxidant, anti-alpha-glucosidase capacity, and release during in vitro digestion. **J. Funct. Foods**, v.42, p.129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.006>