



ESCOAMENTO DA POLPA DE AÇAÍ: aplicação da Lei de Poiseuille no dimensionamento de agroindústrias

Luciana Ap. A. P. FONSECA¹; Yasmin V. C. PIZA²

RESUMO

O açaí é um fruto de grande relevância econômica e social para a região amazônica, cuja polpa apresenta elevada viscosidade e comportamento pseudoplástico, dificultando operações de bombeamento e transporte em pequenas agroindústrias. Este estudo aplicou as equações de Navier–Stokes, em sua forma simplificada (Lei de Poiseuille), para estimar a vazão de polpa de açaí em tubulação de 20 mm de diâmetro e 2 m de comprimento, simulando uma linha de pasteurização. Foram utilizadas propriedades físicas obtidas em estudos experimentais recentes, considerando densidade de 1025 kg/m³ e viscosidade aparente de 2,2 Pa·s em baixas taxas de cisalhamento. A vazão teórica estimada foi de 0,08 L/min, evidenciando a necessidade de pressões maiores ou diâmetros superiores para uso industrial. A aplicação demonstra como fundamentos de mecânica dos fluidos podem apoiar o dimensionamento de linhas de produção e fomentar o desenvolvimento sustentável de comunidades produtoras, em consonância com os ODS 8, 9 e 12.

Palavras-chave: Navier-Stokes; Pasteurização; Superalimento; Bioeconomia; ODS.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do açaí (*Euterpe oleracea*) no Brasil está profundamente enraizada na região amazônica, onde é um alimento tradicional e símbolo cultural. A maior parte da produção de açaí é de origem extrativista, de baixo impacto ambiental, e apresenta retorno socioeconômico expressivo para os produtores rurais ribeirinhos, indígenas e agricultores familiares (QUARESMA; EULER, 2023).

O açaí transcendeu suas origens, alcançando popularidade nacional e internacional, sendo exportado para os EUA, Japão e Europa, impulsionado pelo interesse em superalimentos e produtos naturais. Seu reconhecimento está associado à elevada concentração de compostos fenólicos, como antocianinas, flavonas e ácidos fenólicos, que apresentam propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e cardioprotetoras. Esses compostos auxiliam na neutralização de radicais livres e na prevenção do estresse oxidativo, relacionado ao envelhecimento celular e ao desenvolvimento de doenças como câncer e problemas cardiovasculares (QUARESMA; EULER, 2023).

¹Docente do curso de Engenharia de Alimentos, IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.
E-mail: luciana.previato@ifsuldeminas.edu.br

²Discente do curso de Engenharia de Alimentos, IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.
E-mail: yasmin.piza@alunos.ifsuldeminas.edu.br

Desde a extração até a industrialização, o açaí é responsável pela criação de 25 mil empregos diretos (EMBRAPA, 2022) e, anualmente, gera mais de R\$ 40 milhões em receitas. O Pará, conforme apontam os dados do IBGE (2023), se tornou responsável por 90% da produção nacional. Na Figura 1 estão indicadas as regiões de ocorrência espontânea dos açaizais no Brasil.



Figura 1 – Estados de ocorrência espontânea do açaí. Fonte: IBGE (2023), adaptado pelas autoras.

Do ponto de vista industrial, o processamento da polpa de açaí apresenta desafios significativos devido à sua elevada viscosidade e ao comportamento pseudoplástico característico de suspensões concentradas de frutas tropicais (COSTA, 2019). Essa natureza reológica influencia diretamente operações de bombeamento, transporte em tubulações, pasteurização e envase. Quando o dimensionamento de linhas de processo não considera adequadamente essas propriedades, são frequentes os problemas de baixa eficiência, consumo energético elevado e desgaste prematuro de equipamentos em pequenas agroindústrias.

Este trabalho busca demonstrar a aplicação prática das equações de Navier–Stokes na estimativa de vazão de polpa de açaí em tubulações industriais, contribuindo para o aprimoramento de processos em pequenas agroindústrias amazônicas.

Além do benefício técnico, o estudo se conecta diretamente ao desenvolvimento sustentável, pois processos mais eficientes contribuem para a redução de perdas de produto, maior competitividade industrial e fortalecimento da economia de comunidades extrativistas da Amazônia. Essa abordagem está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial: ODS 8 – Trabalho decente e crescimento econômico, ao fomentar renda e oportunidades em pequenas agroindústrias; ODS 9 – Indústria, inovação e infraestrutura, ao promover melhorias no desempenho de processos produtivos; e ODS 12 – Consumo e produção responsáveis, ao incentivar o uso eficiente de recursos e a minimização de desperdícios.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para viabilizar análises e dimensionamentos em escala industrial simplificada, algumas premissas foram adotadas. A polpa de açaí é classificada como um fluido não-Newtoniano do tipo pseudoplástico (*shear-thinning*), apresentando redução de viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento (COSTA, 2019). No entanto, para fins de cálculo e dimensionamento preliminar, foi tratada como um fluido Newtoniano equivalente, considerando-se a viscosidade aparente em baixas taxas de cisalhamento como parâmetro de projeto.

O escoamento foi assumido laminar, permanente e incompressível, permitindo a aplicação de uma forma simplificada das equações de Navier–Stokes, baseada na Lei de Poiseuille. As perdas de carga localizadas, como as causadas por conexões e válvulas, foram desconsideradas, avaliando-se apenas um trecho retilíneo de dois metros, representativo de linhas curtas de pasteurização em pequenas agroindústrias.

Os parâmetros físicos e reológicos utilizados foram obtidos a partir de estudos experimentais com polpa de açaí tipo A, que é a categoria de maior concentração de polpa, com teor mínimo de sólidos totais de 14%, coloração roxa intensa e elevada viscosidade, muito valorizada para produtos premium. Essa polpa apresentou densidade média de aproximadamente 1025 kg/m³, viscosidade aparente em torno de 2,2 Pa·s em baixas taxas de cisalhamento e índice de escoamento de 0,30, para um teor de sólidos de 15% (COSTA, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da Lei de Poiseuille, derivada das equações de Navier–Stokes para escoamento laminar em tubulações, permitiu estimar a vazão da polpa de açaí no cenário simulado. Considerando a densidade de 1025 kg/m³ e a viscosidade aparente de 2,2 Pa.s a baixas taxas de cisalhamento (COSTA, 2019), a polpa foi bombeada em um tubo de aço inoxidável com raio interno de 0,01 m e comprimento de 2 m. Considerou-se a utilização de uma bomba de deslocamento positivo fornecendo $\Delta P = 1500$ Pa.

O cálculo da vazão volumétrica Q foi realizado segundo a Eq. (1):

$$Q = \frac{\pi \cdot \Delta P \cdot R^4}{8 \cdot \mu \cdot L} = \frac{\pi \cdot 1500 \cdot (0,01)^4}{8 \cdot 2,2} \approx 1,34 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Eq. (1)}$$

onde Q é a vazão volumétrica (m³/s), ΔP é a diferença de pressão (Pa), R o raio interno da tubulação (m), μ a viscosidade aparente (Pa.s) e L o comprimento do tubo (m).

Convertendo para litros por minuto $Q \approx 0,08$ L/min. O valor obtido indica que o escoamento da polpa de açaí em tubulações de menor diâmetro é extremamente lento, resultado diretamente associado à alta viscosidade e ao comportamento pseudoplástico do produto. Na prática, essa baixa vazão inviabilizaria uma linha industrial com diâmetro de 20 mm, exigindo pressões mais elevadas

ou tubulações de maior diâmetro para atingir capacidades produtivas compatíveis com linhas de pasteurização e envase.

O resultado reforça a importância de considerar as propriedades reológicas reais da polpa de açaí no dimensionamento de processos. Embora a modelagem tenha simplificado o fluido como Newtoniano equivalente, em operação contínua a pseudoplasticidade reduziria a viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento, podendo elevar a vazão real. Esse efeito é relevante em processos industriais, mas em linhas de pequena escala e baixas pressões, a resistência ao escoamento permanece o principal fator limitante.

Do ponto de vista econômico e sustentável, a análise evidencia que o correto dimensionamento das linhas reduz o risco de gargalos produtivos, minimiza desperdícios e otimiza o consumo energético, fortalecendo a competitividade de pequenas agroindústrias.

4. CONCLUSÃO

As equações de Navier–Stokes permitem estimar vazões de produtos viscosos e orientar decisões de projeto na indústria de alimentos. O estudo com a polpa de açaí mostrou que o diâmetro da tubulação e a pressão de bombeamento são determinantes para viabilizar a produção industrial. Além da relevância técnica, este trabalho reforça que a otimização de processos impacta positivamente comunidades produtoras, atendendo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 8, 9 e 12) e promovendo o desenvolvimento econômico local aliado à sustentabilidade industrial.

REFERÊNCIAS

COSTA, H. C. B. Avaliação da pasteurização contínua da polpa de açaí sobre a inativação térmica das enzimas peroxidase e polifenoloxidase: estudo experimental e simulação em CFD. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Açaí. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/acaai#:~:text=Tem%20sido%20estimado%20que%20as,R%24%2040%20milh%C3%B5es%20em%20receitas>. Acesso em: 25 jul. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuário.html>. Acesso em: 25 jul. 2025.

QUARESMA, A. P.; EULER, A. M. C. Açaí, mais que um fruto, símbolo da cultura alimentar e bioeconomia da Amazônia. In: VASCONCELOS, M. B. De G. Bioeconomia e o mercado dos produtos florestais não madeireiros: desafios e possibilidades. São Paulo: Synergia Consultoria, 2023, v.5, p.74-99.