

MEDIÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA EM PRODUTOS DERIVADOS DA CANA-DE-ACÚCAR UTILIZANDO PRINCÍPIOS FÍSICOS

MEASUREMENT OF SPECIFIC MASS IN SUGAR CANE DERIVATIVES USING PHYSICAL PRINCIPLES

Marcia Cristina Leonel¹, Luciana Claudia Martins Ferreira Diogenes²

Apoio financeiro dado pela CNPq/FAPEMIG.

Resumo: A massa específica ou densidade é uma propriedade medida nas indústrias sucroalcooleiras por equipamentos mais sofisticados, porém essa propriedade pode ser medida, embora com grau de confiabilidade inferior, através de montagens em bancada que não demandam alto investimento financeiro. Aplicações de leis e princípios de Física, como a Segunda Lei de Newton e o Princípio de Arquimedes, são capazes de fornecer o valor da massa específica dos alimentos estudados. O projeto baseou-se na escolha de três produtos derivados da cana-de-açúcar para se verificar a confiabilidade dos valores fornecidos pelo experimento montado. A massa específica de cada dos subprodutos da cana-de-açúcar foi medida através de um experimento contendo peças de massas aleatórias, dinamômetro e proveta, com a aplicação dos conhecimentos básicos de física.

Palavras-chave: Massa específica. Cana-de-açúcar. Princípio de Arquimedes.

Abstract: The specific mass or density is a property measured in the Sugar and Alcohol Industry industries by more sophisticated equipment, but that property can be measured, though with a lower reliability, through mountings on the bench not demanding high financial investment. Applications of laws and principles of physics, as the newton second law and the arquimedes principle, are able to provide the value of the specific mass of the foods studied. the project was based on the choice of three Products derived from sugarcane. in order to verify the reliability of the values provided by the assembled experimente. The specific mass of each of sugar-cane subproducts was measured through an experiment containing pieces of random masses, dynamometer and measuring cylinder, with the application of basic physics knowledge.

Keywords: Specific Mass. Sugar cane. Arquimedes Principle.

1 INTRODUÇÃO

Em (PEREIRA, 2009) é comentada a existência de diversos documentos oficiais que defendam a prática de atividades na aprendizagem da disciplina de Física, porém a realidade dos dias atuais é que na maioria das aulas aplica-se ainda o incentivo a memorização das fórmulas. O uso do Princípio de Arquimedes para se determinar experimentalmente as massas específicas de líquidos a partir do modelo que construíram para a força de empuxo é uma boa alternativa para que o aluno possa confrontar a teoria com a prática. Pode-se aplicar esse conhecimento no setor sucroalcooleiro, uma vez que a massa específica é uma propriedade a ser controlada.

¹ Aluna do 3º do Ensino Médio na Escola Estadual Maestro Josino de Oliveira,. email marcia.leonel@yahoo.com.br

² Orientadora, Graduada e Mestre em Física pela Unicamp, Doutora em Engenharia Mecânica pela Unicamp, email lucianafem@yahoo.com.br .

As usinas que utilizam como base a cana-de-açúcar precisam estar sempre avaliando a qualidade do caldo ou do produto. Uma dessas avaliações é o cálculo da massa específica representada por μ . Em (Alves) é reportado que a massa específica é uma variável há muito tempo utilizada para identificar o grau de pureza e determinar a contaminação em um processo.

No Manual de Instruções, Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (2006), na página 83, é citado uma equação para calcular a porcentagem de açúcares redutores a qual é dependente da massa específica.

Em (CANCIAM, 2016) estudou-se o xarope produzido na evaporação do caldo de cana clarificado. Particularmente, obteve-se os coeficientes de expansão térmica a partir da estimativa da massa específica em função da temperatura. A determinação da massa específica dos xaropes estudados foi obtida pelo software “The Sugar Engineers” cujos dados de entrada foram a temperatura, a concentração e a pureza.

O processo da produção do álcool produzido a partir da cana-de-açúcar é citado em (MENEGUETTI; MEZARROBA; GROFF, 2010). As amostras representativas do álcool etílico devem ser analisadas, respeitando as normas previstas pela ABNT, como por exemplo em relação a massa específica: 1) determinação da massa específica e do teor alcoólico - método do densímetro de vidro e 2) determinação da massa específica e do teor alcoólico - método da densimetria eletrônica. Além disso é informado que existem parâmetros previstos pelo EAR (etanol anidro combustível de referência) e pelo EHR (etanol hidratado combustível de referência) que deverão ser atendidos para o etanol anidro combustível e para o etanol hidratado combustível, destinados à utilização como referências nos ensaios de avaliação de consumo de combustível e emissões veiculares para homologação de veículos automotores. Um dos parâmetros é a massa específica a 20°C: o máximo deverá ser de 791,5 kg/m³.

A densidade absoluta ou massa específica de uma substância μ é a razão entre a massa m de um corpo e o volume que ele ocupa (BISCUOLA; MAIALI, 1996), conforme eq. 1:

$$\mu = \frac{m}{V} \quad (1)$$

A densidade é um parâmetro medido em sólidos e líquidos e no sistema internacional é expressa em kg/m³. Entretanto, pode-se observar que em algumas vezes também é expressa em g/cm³ ou g/mL. A densidade é uma característica específica de cada material, ou seja, cada substância tem a sua própria, e então, pode-se diferenciar um material do outro (MAZALI, 2015).

O princípio de Arquimedes diz que “um fluido em equilíbrio age sobre um monólito (corpo sólido) nele imenso (parcial ou totalmente) com uma força vertical orientada de baixo para cima, denominada empuxo, aplicada no centro de gravidade do volume do fluido deslocado, cuja intensidade é igual a do peso do volume deslocado (MAZALI, 2015). Baseado nesse princípio, o empuxo é dado por:

$$E = P = mg = \mu_f V_d g \quad (2)$$

onde: E = empuxo [N], P = peso do objeto [N], m= massa do objeto [kg], μ_f = massa específica do fluido [kg/m³], V_d = volume do fluido deslocado [m³], g = aceleração da gravidade [9,8 m/s²].

Para que os experimentos possam ser realizados, deve-se tomar um béquer preenchido com uma das substâncias (água ou iogurte), um dinamômetro preso em um suporte para se determinar o peso aparente e vários corpos sólidos (no mínimo 3). A variação do número de corpos servirá para se determinar uma massa específica mais exata, uma vez que será aplicado o cálculo da média.

O volume deslocado V_d pode ser determinado por dado por:

$$V_d = V_f - V_i \quad (3)$$

onde: V_f e V_i = volumes final e inicial medidos, respectivamente.

A medida do módulo do empuxo pode ser facilmente determinada com um corpo pendurado e inserido dentro do líquido, sendo esse módulo determinado pela diferença de peso verdadeiro de um corpo e o peso aparente que o dinamômetro indica quando este estiver pendurado na água.

$$E = P_c - P_a \quad (4)$$

onde: P_c = peso do corpo, P_a = peso aparente.

A massa específica pode ser calculada fazendo-se um gráfico de E (N) x V_d (m³), uma vez que o Empuxo pode ser obtido diretamente pela eq. 4 e o V_d pela eq.3. A eq. 2, fornecerá o valor da massa específica através do coeficiente angular da reta.

A incerteza do coeficiente angular B, isto é, σ_B é dada por (Taylor, 2012):

$$\sigma_B = \sigma_y \sqrt{\frac{N}{\Delta}} \quad (5)$$

onde

$$\sqrt{\frac{1}{N-2} \sum_{i=1}^N (y_i - A - Bx_i)^2} \quad (6)$$

$$\Delta = N \sum x^2 - (\sum x)^2 \quad (7)$$

A incerteza da massa específica $\Delta\mu$ é encontrada por (Taylor, 2012):

$$\sigma_B = g\Delta\mu$$

$$\Delta\mu = \frac{\sigma_B}{g} \quad (8)$$

2 METODOLOGIA

2.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização dos experimentos a fim de determinar a massa específica da água e do caldo-da-cana e seus derivados, os seguintes materiais foram utilizados:

- Balança digital com precisão de 10^{-4} g,
- Béquer de 25 ml com precisão de 15 ml,
- Dinamômetro de até 1 N com precisão de 0,1 N,
- Proveta de 250 ml com precisão de 2 ml,
- Água destilada,
- Caldo de cana e seus derivados,
- Várias massas diferentes.

A espécie da cana utilizada para obtenção do caldo e do melaço encontra-se na figura 2.1:



Figura 2.1 - Espécie de cana para obtenção do caldo e do melaço.

O procedimento experimental empregado foi dividido em duas etapas:

- Na primeira etapa, as massas específicas da água, do caldo-da-cana e do melaço foram determinadas a partir da equação 1 utilizando somente o Béquer e a balança digital. As figuras 2.2 e 2.3 mostram os valores medidos de massa de água e caldo-da-cana, respectivamente. Inicialmente, a balança foi zerada com o Béquer vazio para que a sua massa não interfira nos resultados.
- Na segunda etapa, preencheu-se a proveta com 150 ml de água (figura 2.4), caldo-de-cana (figura 2.5), melaço (figura 2.6) e de uma substância que foi apelidada neste projeto de “levedura” que foi obtida após a fermentação do caldo-da-cana na usina Cerradão em Frutal - MG, e posteriormente, adicionaram-se pesos com diferentes massas para obter os dados para calcular a massa específica utilizando o método da regressão linear.



Figura 2.2 - Medição da massa de água na balança digital em um volume de 25 ml.

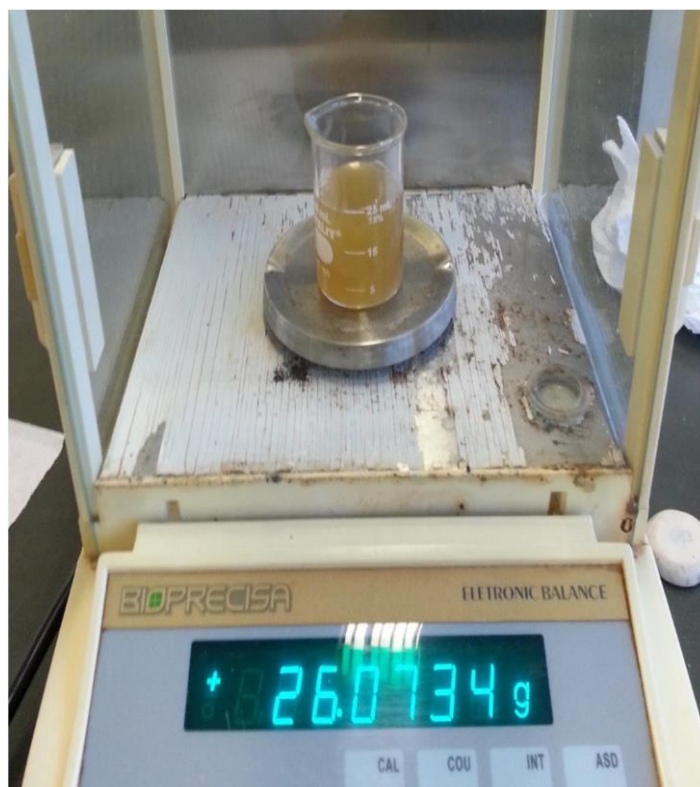


Figura 2.3 - Medição da massa do caldo-da-cana na balança digital em um volume de 25 ml.



Figura 2.4 - Montagem experimental para a realização da segunda etapa do procedimento experimental, nessa figura, utilizando água.



Figura 2.5 - Montagem experimental para a realização da segunda etapa do procedimento experimental, nessa figura, utilizando caldo-da-cana.



Figura 2.6 - Proveta contendo melaço no volume inicial de 150 ml, padrão para todos os experimentos realizados.

3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1 MEDIÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA – MÉTODO DA 1ª ETAPA

3.1.1 MEDIÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA ÁGUA

Com os dados experimentais obtidos foram realizados os cálculos que serão apresentados em seguida. De acordo com o que foi descrito na primeira etapa, a massa específica da água obtida é:

$$\mu = \frac{m}{V} = \frac{0,0242627}{25 \cdot 10^{-6}} \sim 971 \text{ kg/m}^3.$$

3.1.2 MEDIÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CALDO-DA-CANA

De acordo com o que foi descrito pela primeira etapa a massa específica do caldo-de-cana obtida foi:

$$\mu = \frac{m}{V} = \frac{26072,9}{25 \cdot 10^{-6}} \sim 1.043 \text{ kg/m}^3$$

3.1.3 MEDIÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO MELAÇO

De acordo com o que foi descrito pela primeira etapa a massa específica do melaço obtida foi:

$$\mu = \frac{m}{V} = \frac{58158,2}{25 * 10^{-6}} \sim 2.326 \text{ kg/m}^3$$

3.2 MEDIÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA – MÉTODO DA 2ª ETAPA

O valor que acompanha x na reta do gráfico da figura 3.1 é o coeficiente angular B da reta, e, portanto, a massa específica foi encontrada dividindo esse valor por 9,8 m/s².

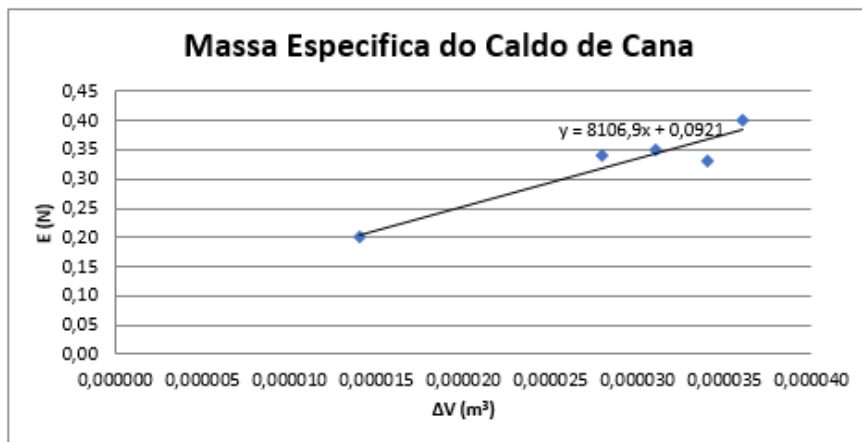


Figura 3.1 - A massa específica do caldo-de-cana depende do coeficiente angular B da reta obtida pelo método de regressão linear.

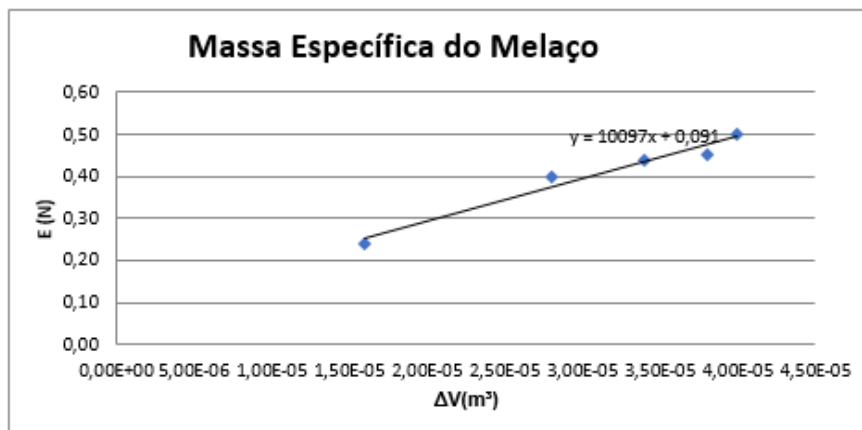


Figura 3.2 - A massa específica do melaço depende do coeficiente angular B da reta obtida pelo método de regressão linear.

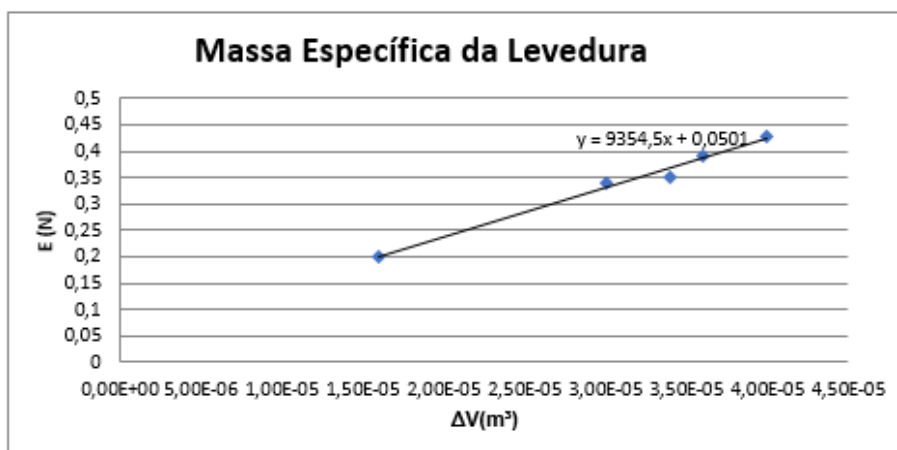


Figura 3.3 - A massa específica da levedura depende do coeficiente angular B da reta obtida pelo método de regressão linear.

As incertezas foram calculadas pela equação 8. Os valores de cada massa específica e sua incerteza estão informados na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Massa específica e incerteza obtida pelo método da segunda etapa.

Substância	Massa Específica [kg/m ³]	Incerteza [kg/m ³]
Água	872	151
Caldo-de-Cana	827	158
Melaço	1.030	119
Levedura	954	68

4 CONCLUSÃO

No primeiro método, o qual é a obtenção da massa específica medindo-se a massa do líquido na balança e fazendo a divisão dessa massa pelo volume preenchido no bécquer, obteve-se o valor de $\mu_{\text{água}} = 971 \text{ kg/m}^3$. Pelo segundo método, utilizando a equação de Arquimedes juntamente com o método de regressão linear, obteve-se o valor de $\mu_{\text{água}} = 872 \pm 151 \text{ kg/m}^3$. A massa específica da água é dada

como 1.000 kg/m^3 . (GIORGETTI, 2014). Dessa maneira, pode-se dizer que o sistema utilizado pelo método da primeira e segunda etapa são confiáveis para a água.

Para o caldo-de-cana, a massa específica obtida no primeiro método foi de $\mu_{\text{caldo-de-cana}} = 1.043 \text{ kg/m}^3$ e pelo segundo método $\mu_{\text{caldo-de-cana}} = 827 \pm 158 \text{ kg/m}^3$. O primeiro método é mais preciso do que o segundo, uma vez que a balança é de alta precisão, e o dinamômetro, utilizado no segundo método, de baixíssima resolução.

Para o melaço, a massa específica obtida utilizando o primeiro método foi de $\mu_{\text{melaço}} = 2.326 \text{ kg/m}^3$ e pelo segundo método, $\mu_{\text{melaço}} = 1.030 \pm 119 \text{ kg/m}^3$. A diferença de resultado refere-se ao longo tempo em que as massas demoram em cair na proveta e dessa forma, o dinamômetro não registrou o peso aparente corretamente. Para corrigir esse problema, o ideal seria necessário deixar a massa no melaço por muito mais tempo. Porém, o melaço cristaliza-se muito fácil, de modo que medir a massa específica aplicando o segundo método torna-se bem mais complexo. Para líquidos muito denso, é melhor evitar o segundo método caso queira obter uma medição de massa específica dentro de poucos minutos.

Para a levedura, a massa específica obtida pelo segundo método, $\mu_{\text{levedura}} = 954 \pm 68 \text{ kg/m}^3$.

Pode-se concluir que quanto menos denso for o líquido, mais confiável é o segundo método.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro dado pela CNPq/FAPEMIG onde o projeto foi aprovado pelo edital 03/2014 Bic Jr/ UEMG/CNPq/ FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

Alves E. A., **Benefícios da medição contínua de densidade e concentração nos processos de fabricação de açúcar & álcool, caso de sucesso**, SMAR equipamentos industriais. Disponível em <http://www.smar.com/PDFs/ApplicationNotes/DT300%20App%20Notes%20-%20A&A.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.

CANCIAM, C.A.; **Influência da concentração na dilatação térmica de xaropes destinados à produção de açúcar e bioetanol**. Revista brasileira de tecnologia industrial. Ponta Grossa, 2016. ISSN: 1981-3686.

GIORGETTI, M. F.; **Fundamentos de fenômenos de transporte: para engenharia**. Ed. Campus Elsevier, 2014. 432 p. ISBN: 978-85-3527-165-2.

MAZALI I., O., **Determinação da densidade de sólidos pelo método de Arquimedes, métodos, processos e técnicas**. Laboratório de Química do Estado Sólido. Unicamp, 2015. Disponível em http://lqes.igq.unicamp.br/images/vivencia_lqes_meprotec_densidade_arquimedes.pdf. Acesso em: 17 abr. 2017.

Manual de Instruções, Conselho dos Produtores de Cana-De-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo CONSECANA, 5ª Edição, Piracicaba, 2006. P. 83.

MENEGUETTI, C. C.; MEZAROBA D.; GROFF A. M; **Processos de produção do álcool etílico de cana-de-açúcar e os possíveis reaproveitamentos dos resíduos resultantes do sistema**. In: IV Encontro de Engenharia Agroindustrial. Campo Mourão, 2010.

PEREIRA M. M., **Do empírico ao teórico: um plano de aula para o ensino do Princípio de Arquimedes no ensino médio**. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física. 2009.

TAYLOR, J. R.; **Introdução a análise de erros: o estudo de incertezas em medições físicas**. 2ª ed. Porto Alegre, Ed.: Bookman, 2012. ISBN: 978-85-407-0136-6.