

UM DISPOSITIVO SIMPLES PARA A DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA E CONTÍNUA DA DENSIDADE DE LÍQUIDOS E DA CONCENTRAÇÃO DE SUSPENSÕES LÍQUIDAS¹

Sabrina S. PAES³, Kátia N. MATSUI², Fábio D. S. LAROTONDA², João B. LAURINDO^{2,*}

RESUMO

Um dispositivo para a determinação automática da densidade e da concentração de partículas em suspensões líquidas foi desenvolvido, usando suspensões de amido de mandioca como modelo. As determinações das propriedades foram baseadas na medição da força de empuxo que a suspensão líquida exerce sobre uma bóia de plástico esférica, submersa na mesma e conectada a um sistema eletrônico de medição de força. Os resultados obtidos mostraram que o dispositivo é um excelente densímetro e pode ser usado com sucesso para a determinação da concentração de suspensões líquidas de partículas, quando a relação entre concentração de sólidos e a densidade da suspensão é conhecida. Resultados da medida de densidade de líquidos com o dispositivo, como o glicerol com 99% de pureza e um óleo de soja comercial ficaram muito próximos dos valores citados na literatura e medidos por picnometria.

Palavras-chave: suspensões; densidade; concentração; determinação; empuxo.

SUMMARY

A SIMPLE DEVICE FOR ON-LINE DETERMINATIONS OF LIQUID DENSITY AND SUSPENSION CONCENTRATION. A simple device was developed to determinate simultaneously the density and the concentration of particle suspensions. Cassava starch suspensions were used as a model to carry out the experiments and to develop the equipment. The determinations were based on the measure of the force suffered by a spherical plastic buoy immersed in the suspension under study. This force was transmitted to a force measure electronic cell by means of a metal stem. The experimental results showed that the device developed is a very good densimeter, which can be used to determine suspension concentration with good accuracy, when the relation between density and suspension concentration is known. Results of glycerin and a commercial soy oil density measures were in good agreement with the ones obtained in the literature and by picnometry technique, respectively.

Keywords: particles; suspension; density; concentration; force; measure.

1 - INTRODUÇÃO

A determinação automática da densidade de líquidos e da concentração de suspensões líquidas de partículas podem ser de grande utilidade em diversos processos industriais, onde estas variáveis são utilizadas na padronização e no controle do processo e da qualidade do produto processado.

Entre os processos industriais que necessitam do conhecimento da concentração de sólidos em suspensão, pode-se citar a cristalização e a precipitação de sólidos em soluções e suspensões. Nesses processos, medidas *on-line* da concentração de sólidos são preferíveis, pois as medidas de concentração de sólidos por filtragem seguida de secagem consomem muito tempo [5].

Além disso, as medidas *on-line* possibilitam a determinação do valor da concentração sem a necessidade de se manusear a substância sob teste. Isto é de grande importância em processos em que medidas de concentração não devem ser realizadas por um operador, pois o produto apresenta risco no seu manuseio, como é o caso do NaOH ou do H₂SO₄ [2].

Na indústria de alimentos, é comum a utilização da densidade e da concentração de soluções e de sus-

pensões como parâmetros de controle de processos. No processo de produção do amido de mandioca, por exemplo, a obtenção de uma suspensão de amido padronizada representa uma dificuldade para as fecularias, uma vez que não se utilizam métodos automatizados para se determinar a concentração da suspensão. Atualmente, a padronização dessas suspensões é feita com o uso de densímetros de vidro, que medem a concentração da suspensão de amido em graus Baumé. Para isso, uma amostra da suspensão é retirada da linha de processamento e a medida da concentração de amido é realizada em um recipiente externo. Essa medida é utilizada para a tomada de decisões de rotina, mas tem-se constatado que a dificuldade de realizar essa medida e comunicá-la a quem toma as decisões dentro da fábrica é um fator limitante para esse procedimento.

Vários estudos têm sido publicados, sobre a medida indireta da concentração de sólidos em suspensão, através da medição de diversas propriedades físicas. Pode-se citar as utilizações da medida de turbidez [5] e do índice de refração usando sensores de fibra óptica [2] e a utilização de medidas da dispersão da luz pelas partículas em suspensão [1]. FALCIAI, MIGNANI & VANNINI [2] estudaram a utilização de fibras ópticas para medidas *on-line* da concentração de suspensões, as quais foram comparadas com as medidas *off-line* realizadas com um refratômetro, obtendo resultados concordantes.

A utilização de medidas da absorção e da impedância acústica também tem sido estudada para a determinação da concentração e da densidade de suspensões [3]. Esses autores estudaram a utilização de sistemas de sensores acústicos para medidas contínuas e simultâ-

¹ Recebido para publicação em 25/09/2002. Aceito para publicação em 30/03/2004 (000998).

² Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Caixa Postal 476 - CEP 88040-900 Florianópolis, SC. E-mail: joao@enq.ufsc.br

* A quem a correspondência deve ser enviada.

neas da densidade e da concentração de sólidos em líquidos, permitindo o acompanhamento destas variáveis durante o processo industrial.

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo para a determinação simultânea e *on-line* da densidade e da concentração de suspensões líquidas de partículas, através da medida da força de empuxo exercida sobre uma bóia submersa na suspensão sob análise. Para o desenvolvimento do sistema, utilizou-se a densidade como variável física associada à concentração de sólidos em suspensões de amido de mandioca preparadas em laboratório.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Como o dispositivo desenvolvido mede a densidade de líquidos e suspensões líquidas, foi construída uma curva que relaciona a densidade da suspensão de amido com a concentração de sólidos presentes na mesma. Para isso, medidas de densidade de suspensões com concentrações conhecidas foram realizadas em triplicata, por picnometria. Desta maneira, se obtém uma equação relacionando a densidade da suspensão de amido com a concentração da mesma. O amido de mandioca utilizado em todos os experimentos foi fornecido pela empresa Amifar Ind. e Com. Ltda, Deodápolis - MS.

Foram ainda realizadas medidas das densidades do glicerol e de um óleo de soja comercial com o dispositivo montado, a fim de se verificar a exatidão do mesmo para líquidos mais densos e menos densos do que a água.

2.1 - Construção da curva que relaciona a densidade com a concentração de sólidos

A umidade média do amido utilizado para preparar as suspensões, determinada pelo método termogravimétrico, foi igual a 12% em base úmida. Sendo M_{su} a massa de amido úmido, M_s a massa de suspensão e x a umidade em base úmida, a fração de sólidos secos em suspensão é dada pela equação (1):

$$X_{ss} = \frac{M_{su} - M_{su} x}{M_s} \quad (1)$$

Através da determinação da densidade e da concentração das suspensões preparadas, construiu-se a curva que relaciona a densidade da suspensão, ρ_s , com a concentração de sólidos em suspensão X_{ss} .

Foram ainda realizadas medidas de densidade das suspensões, submetendo o picnômetro com a mesma a um vácuo de 600mmHg, em um dessecador. Esse procedimento teve o objetivo de eliminar o ar incorporado durante a preparação das suspensões, o que poderia modificar os resultados de densidade.

2.2 - Medidas com o dispositivo experimental

2.2.1 - Detalhes do dispositivo construído

O dispositivo construído, apresentado na *Figura 1*, consiste de um recipiente cilíndrico de material acríli-

co, com 35cm de altura e 12cm de diâmetro, munido de quatro chicanas laterais distribuídas uniformemente ao longo do cilindro. É provido de um agitador com velocidade controlável no fundo do mesmo e de uma bóia esférica de plástico com aproximadamente 7cm de diâmetro, que é ligada a um sistema eletrônico de medição de força por uma haste de metal. Para que a força resultante atuasse normalmente na célula de medição, a haste foi guiada por um mancal até a mesma. Neste recipiente, é colocado o líquido ou suspensão líquida de partículas para a qual se pretende determinar a densidade ou a concentração de sólidos.

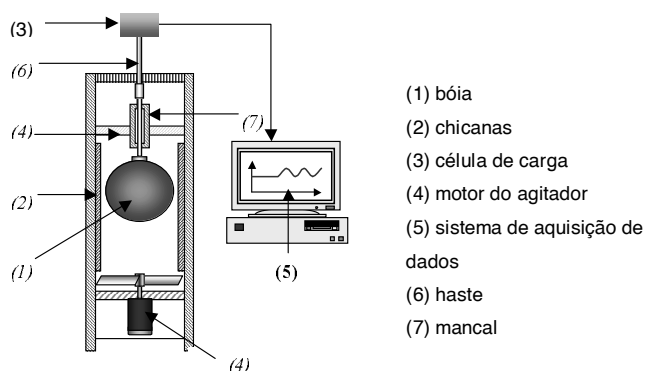


FIGURA 1. Representação esquemática do dispositivo desenvolvido.

A parte superior do recipiente é provida de uma tampa contendo um orifício no seu centro, o qual permite a passagem da haste de metal até o sistema eletrônico de medição de força. A haste tem comprimento suficiente para manter a bóia submersa durante as medições.

O sistema de medição de força é constituído por uma célula de medição (célula de carga) de uma balança eletrônica da marca GEHAKA, modelo BG2000, provida de uma interface RS232 e ligada a um computador, onde a aquisição de dados é realizada por um software especialmente desenvolvido para esta aplicação. A célula utilizada funciona em uma faixa de operação de zero a 19,6N e tem resolução de $9,81 \times 10^{-5}$ N.

2.2.2 - Princípio do método

O funcionamento do dispositivo desenvolvido é baseado na medida da força resultante entre a força de empuxo que o líquido exerce sobre o sistema submerso bóia-haste e o peso deste sistema, conforme ilustrado na *Figura 2*. Sendo a força de empuxo proporcional à densidade do líquido, que por sua vez é função da concentração de sólidos em suspensão, a medida contínua da força resultante possibilita a determinação contínua da densidade e da concentração de suspensões líquidas.

De acordo com o balanço de forças no sistema bóia-haste submerso, apresentado no esquema da *Figura 2*, onde desprezou-se o atrito entre a haste e o mancal, a força resultante no sistema é dada pela equação (2).

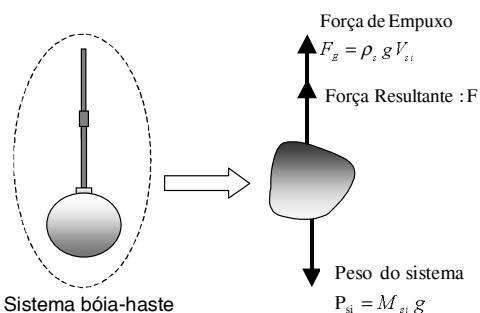


FIGURA 2. Balanço de forças no sistema bóia-haste submerso na suspensão líquida, onde ρ_s é a densidade da suspensão sob análise, g é a aceleração da gravidade, V_{si} é o volume do sistema submerso na suspensão e M_{si} é a massa do sistema bóia-haste utilizado.

$$F = \rho_s g V_{si} - M_{si} g \quad (2)$$

Sendo o valor de F medido pela célula de medição de força, a densidade da suspensão pode ser calculada utilizando-se os dados experimentais F , M_{si} e V_{si} , como mostra a equação (3)

$$\rho_s = \frac{F + M_{si} g}{V_{si} g} \quad (3)$$

A massa M_{si} do sistema bóia-haste utilizado foi igual a 50,83g e o volume submerso do sistema bóia-haste foi igual a 189,8cm³, tendo sido este determinado de maneira indireta, utilizando-se água destilada como líquido padrão no recipiente do dispositivo.

Assim, a equação (4) foi utilizada para a determinação da densidade de líquidos, em [kg/m³], para o sistema bóia-haste utilizado no dispositivo, com a força resultante F dada em Newtons.

$$\rho_s = 537,62 F + 267,81 \quad (4)$$

O valor da força resultante F , medida quando a água destilada é colocada no recipiente, é igual a 1,362N. Como a incerteza da célula de medição de força é de aproximadamente 0,0001N, a incerteza da medição da densidade e da concentração devida à mesma é desprezível. As maiores contribuições para as incertezas de medição são devidas ao atrito entre a haste que transmite a força para a célula e o mancal e às perturbações promovidas pelo misturador, que transfere quantidade de movimento ao líquido no interior do recipiente de medição. Um aumento no diâmetro da bóia utilizada no dispositivo representa um aumento da força de empuxo considerável, pois esta é uma função cúbica do diâmetro do corpo esférico submerso. Um maior valor da força resultante diminui a importância relativa das forças que promovem incertezas.

2.2.3 - Procedimento experimental

A determinação da densidade e da concentração de uma suspensão de amido de mandioca previamente

preparada foi realizada com o dispositivo construído. Após o tempo de aproximadamente 100 segundos foi adicionado um volume de 100mL de água, para diluir a suspensão, mantendo-se a agitação suficiente para evitar a precipitação das partículas de amido. Este procedimento foi realizado três vezes e determinou-se continuamente a concentração após as três perturbações.

A determinação da concentração de sólidos nas suspensões de amido com o dispositivo foi realizada utilizando-se a equação (4), para a determinação da densidade e a equação $\rho_s = A+B.X_{ss}$ para a determinação da fração de sólidos em suspensão, X_{ss} . Os parâmetros A e B foram obtidos pela regressão linear dos pontos experimentais de densidade versus concentração de sólidos, obtidos por picnometria.

2.3 - Determinação das densidades do glicerol e do óleo de soja

A determinação das densidades do glicerol, com 99,5% de pureza e de um óleo de soja comercial foram realizadas utilizando-se o dispositivo montado. A densidade do glicerol determinada pelo dispositivo foi comparada com o valor de 1260,8 [kg/m³], encontrado na literatura [4], para a temperatura de 20°C e o valor da densidade do óleo de soja foi comparado com o valor determinado por picnometria.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Curva que relaciona a densidade com a concentração de sólidos em suspensão

A curva que relaciona a densidade da suspensão com a concentração de sólidos em suspensão, para a suspensão de amido de mandioca utilizada, é apresentada na Figura 3. Foram realizadas vinte medidas para a determinação da densidade de suspensões a diferentes concentrações, sendo que em seis amostras, as suspensões de amido foram submetidas a um vácuo de 600mmHg no interior de um dessecador de vidro. Isso foi feito para verificar a influência da incorporação de bolhas de ar durante a preparação das suspensões, o que poderia modificar as densidades das mesmas.

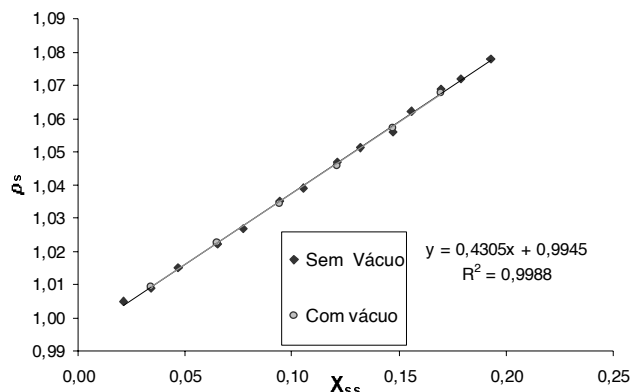


FIGURA 3. Curva que relaciona a densidade (ρ_s) da suspensão com a da fração de sólidos secos (X_{ss}) na mesma.

A influência da incorporação das bolhas de ar na suspensão não foi significativa, tendo em vista que os dados experimentais obtidos nos experimentos sem vácuo foram muito próximos daqueles obtidos nos experimentos onde se realizou vácuo. Assim, a equação $\rho_s = 0,43X_{ss} + 0,99$, com coeficiente de correlação igual a 0,998, foi usada para correlacionar ρ_s com X_{ss} .

3.2 – Medidas com o dispositivo experimental

Apresenta-se na *Figura 4a* uma comparação entre os valores das concentrações de sólidos determinadas na preparação das suspensões, a partir das massas de água e de amido e os valores das concentrações de sólidos obtidos pelo dispositivo, para as três perturbações efetuadas pela adição de água no recipiente de medida. Na *Figura 4b*, apresentam-se os desvios percentuais das medidas realizadas com o dispositivo, em relação aos valores calculados através das massas de água e de amido usadas nas preparações das soluções.

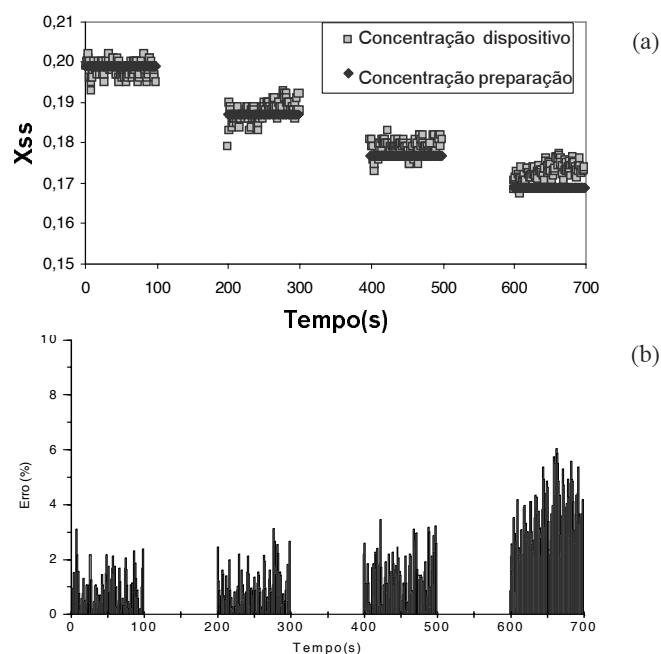


FIGURA 4. a) comparação dos valores medidos com o dispositivo e calculados; b) desvios percentuais dos valores medidos com o dispositivo e calculados.

As maiores diferenças ocorreram para as menores concentrações de sólidos, mas o erro percentual não foi maior do que 6% para todos os casos. Esse erro aumentou durante a realização do experimento e está associado à ineficiência do processo de mistura, pois o agitador foi mantido a baixa rotação, apenas para evitar a decantação das partículas de amido. A prova disso é que medidas estáticas, realizadas com suspensões preparadas a diferentes concentrações, não apresentaram desvios médios maiores do que 2%. A primeira medida apresentada na *Figura 4a* é um exemplo disso. Na prática, se suspensões devidamente misturadas forem alimentadas no dispositivo, o desvio não ultrapassa o valor de 2%.

3.3 – Densidade do glicerol e do óleo de soja

O valor da densidade do glicerol obtido com o dispositivo foi igual a 1268,0 [kg/m³]. Este valor é muito próximo ao encontrado na literatura [4] para o glicerol com 99% de pureza e à temperatura de 20°C, que é igual a 1258,5 [kg/m³]. O desvio percentual obtido foi de apenas 0,76%, demonstrando a exatidão do dispositivo para líquidos mais densos do que a água.

Para o óleo de soja comercial, a densidade determinada pelo dispositivo foi de 918,7 [kg/m³] e o valor obtido pelo método do picnômetro foi de 916,8 [kg/m³]. Neste caso, o desvio percentual foi de 0,21%, demonstrando que o dispositivo desenvolvido também opera satisfatoriamente nessa faixa de densidades.

4 – CONCLUSÕES

O dispositivo desenvolvido para determinar a densidade e a concentração de suspensões líquidas de partículas possui baixo custo de construção e princípio de funcionamento calçado em bases científicas de fácil entendimento. As densidades e concentrações determinadas pelo mesmo foram muito próximas do que se considerou como padrão. Assim, esse dispositivo poderá ser usado com sucesso para a determinação das propriedades citadas, pois possui boa exatidão. No entanto, é necessária a realização da mistura prévia da suspensão, antes da alimentação da mesma no recipiente do dispositivo, pois a realização dessa tarefa no mesmo provocará perturbações mecânicas que prejudicarão a realização das medidas. Isso não é um problema para a utilização desse equipamento na fábrica, pois basta instalar um misturador estático de líquidos antes da medição.

Uma solicitação de patente desse equipamento foi depositada no INPI em julho de 2002.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BERGOUX, L.; FIRPO, J.; MISGUICH-RIPAULT, J. Optical fiber for measuring high particle concentrations. **Powder Technology**, n. 105, p. 413-417, 1999.
- [2] FALCIAI, R.; MIGNANI, A.G.; VANNINI, A. Long period gratings as solution concentration sensors. **Sensors and actuators B**, n. 74, p. 74-77, 2001.
- [3] HENNING, B.; DAUR, P.; PRANGE, S.; DIERKS, K.; HAUPTMANN, P. In-line concentration measurement in complex liquids using ultrasonic sensors. **Ultrasonics**, n. 38, p. 799-803, 2000.
- [4] PERRY, R.H.; GREEN, D.W. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 7 edição, p. 2-116, 1999.
- [5] RAPHAEL, M.; ROHANI, S. On-line estimation of solids concentrations and mean particle size using a turbidimetry method. **Powder Technology**, n. 89, p. 157-163, 1996.

6 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à CAPES pela concessão de bolsas de iniciação científica e de mestrado, respectivamente.