

POROSIDADE E MASSA ESPECÍFICA DE CINCO VARIEDADES DE CAFÉ CEREJA DESCASCADO¹

RIBEIRO, R.C.M.S.²; BORÉM, F.M.³; CORRÊA, P.C.⁴; RIBEIRO, D.M.⁵ e RESENDE, O.⁵

¹ Extraído da Tese de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Lavras, UFLA; ² Eng. Eletricista, M.S. em Ciência dos Alimentos – UFLA, MG, CEP 37.200-000; ³ Professor Adjunto, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras – UFLA, MG, CEP 37.200-000; ⁴ Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, MG, CEP 36571-000; ⁵ Eng. Agrícola, mestrando do Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, CEP 37.200-000.

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo determinar, experimentalmente, os valores da massa específica aparente e da porosidade, bem como ajustar equações matemáticas para relacionar essas propriedades com o teor de água de cinco variedades de café em pergaminho. Foram estudadas as variedades Catuaí, Catucaí vermelho, Catucaí amarelo, Acaiaí e Rubi. A massa específica foi calculada a partir da relação entre a massa e o volume de grãos contidos em um determinado cilindro, e a determinação da porosidade foi feita em um picnômetro de comparação a ar. Os valores observados foram submetidos à análise de regressão, os quais se ajustaram melhor a uma equação polinomial do segundo grau. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que a massa específica do café em pergaminho aumentou com a elevação do teor de água, enquanto a porosidade diminuiu com o aumento do teor de água para todas as variedades estudadas. Não foi possível ajustar um modelo matemático único para as cinco variedades estudadas, indicando haver efeito da interação teor de água e variedade.

Palavras-chave: café descascado, porosidade, massa específica, teor de água, variedades.

POROSITY AND SPECIFIC MASS OF PULPED CHERRY FROM FIVE COFFEE VARIETIES

ABSTRACT: This work had as its aim to determine the specific mass and porosity and adjust a model for correlation those physic properties with moisture content for five different varieties of coffee n parchment. The measured were made for the following varieties: Catuaí, Catucaí vermelho, Catucaí amarelo, Acaiaí and Rubi. The specific mass was calculated by the relation mass over grain volume into a specific cylinder. The porosity was determined using the air-comparison pycnometer. The observed values of those properties were submitted to a regression analysis, which was better adjusted by a second-degree polynomial equation. It was concluded that the specific mass increase with the moisture content while

porosity decrease. It was not possible to adjust a single mathematical model for the five varieties studied, which points out an interaction effect of the moisture content and the varieties.

Key words: peeled coffee, porosity, specific mass, moisture content, varieties.

INTRODUÇÃO

Recentemente, diversos produtores têm optado pelo processamento do café cereja descascado, tanto pela redução que representa na área ocupada no terreiro, aumentando, assim, sua capacidade de processamento, como também pela melhoria de qualidade e redução do custo de secagem. Segundo Dias e Barros (1993), o descascamento dos frutos maduros tem se mostrado eficiente na melhoria da qualidade final do café, com vantagens econômicas. Além disso, o processamento do café cereja descascado pode representar redução de até 40% na área necessária para o terreiro, como também redução no tempo total de secagem, o que, além de reduzir os riscos de ocorrerem alterações indesejáveis no café, reduz o custo final da secagem.

A racionalização dos diferentes processos empregados no controle e na conservação da qualidade do café depois da colheita requer o estudo de propriedades físicas e térmicas, juntamente com a descrição de fenômenos a elas associados. Modificações físicas em produtos agrícolas submetidos aos processos de secagem e armazenagem, decorrentes de mudanças da concentração de água no interior do produto, podem ser calculadas com base em equações matemáticas que levem em consideração as relações existentes entre essas propriedades e seu teor de água. Relações dessa natureza já foram descritas para diversos produtos agrícolas. Entretanto, não foram encontrados na literatura consultada estudos que descrevessem alterações nas propriedades físicas do café cereja descascado em função do teor de água para diferentes variedades.

Segundo Mohsenin (1972), a massa específica de um material é a razão entre a massa e o volume do material, podendo ser aparente ou real. A massa específica aparente inclui o volume do espaço intergranular, enquanto a massa específica real considera apenas o volume ocupado pela massa granular.

Conforme Jayas et al. (1989), a massa específica aparente de grãos é influenciada pelos seguintes parâmetros: massa dos grãos, massa específica aparente do grão seco, teor de água do grão e tamanho da medida do recipiente.

De acordo com Browne (1962), há dois métodos comuns para determinar a massa específica de grãos. Em um processo emprega-se o deslocamento de um líquido, em outro, do ar. O método de

deslocamento de líquido tem a vantagem de requerer, apenas, equipamentos comuns de laboratório. O método de deslocamento de ar requer um aparato especial denominado picnômetro. Com esse método, dificuldades podem surgir, como variação de temperatura e vazamentos de ar, mas ele tem a vantagem de

(1)

ser relativamente rápido.

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100$$

Afonso Júnior e Corrêa (2000), utilizando frutos de café da variedade Catuaí vermelho, colhidos com teor de água de 50,7 % (b.u.) e processados por via seca e úmida, constataram que a massa específica aparente eleva-se com o aumento do teor de água, independentemente do tipo de processamento.

Sasseron (1984) e Mohsenin (1972) definem a porosidade como a quantidade de espaços vazios ocupados pelo ar existente em uma massa de grãos, podendo variar de 30 a 50%. A porosidade pode ser determinada por métodos diretos, como, por exemplo, medindo-se o volume de líquidos acrescentados à massa de grãos, ou por métodos indiretos, como o uso de picnômetro de comparação a ar. Sasseron (1984) menciona que a porosidade sofre influência do teor de água do produto, da porcentagem de quebrados e de impurezas.

Segundo Mohsenin (1972), a porosidade, expressa em porcentagem, determinada por meio do método indireto usando o picnômetro, pode ser calculada a partir da equação 1.

em que

P : porosidade (%);

P₁ : pressão do ar no cilindro 1 (mm.c.a.);

P₂ : pressão do ar de equilíbrio dos cilindros 1 e 2 (mm.c.a.).

Couto et al. (1999), estudando a porosidade do café em coco das variedades Catuaí e Timor, contendo frutos verdes e cerejas, verificaram variação da porosidade de 38,8 a 53,0%, concluindo que esses valores encontram-se na mesma faixa da maioria dos grãos agrícolas. Segundo os autores, a porosidade, em função do teor de água, aumentou com a elevação deste até um valor máximo e, a seguir, decresceu.

Chandrasekar e Viswanathan (1999), estudando propriedades físicas de café descascado das espécies arábica e robusta, concluíram que a porosidade diminuiu com o aumento do teor de água na faixa de 9,9 a 30,6% (b.u.).

Considerando a franca expansão do uso do cereja descascado no processamento do café, as vantagens que esse processamento apresenta em relação à melhoria de qualidade e redução de custos e a escassez de literatura referente às propriedades físicas de café descascado, este trabalho buscou determinar experimentalmente os valores da massa específica aparente e da porosidade, bem como ajustar equações matemáticas para relacionar essas propriedades com o teor de água de cinco variedades de café em pergaminho.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Lavras e no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação de Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), situado no campus da Universidade Federal de Viçosa-MG. Foram avaliadas a porosidade e a massa específica de cinco variedades de café cereja descascado. Todas as análises foram realizadas com temperatura ambiente constante de 20°C.

Cerca de 500 litros de café (*Coffea arabica* L.) de cinco variedades (Acaiá, Rubi, Catuaí, Catucaí Amarelo e Catucaí Vermelho), com umidade média de 55% (b.u.), foram colhidos manualmente sobre pano no setor de cafeicultura da Universidade Federal de Lavras - UFLA. Após a colheita, o café, de cada uma das variedades, foi lavado e separado em café bóia, verde e cereja. A porção formada pelo café cereja foi descascada em um descascador mecânico, acondicionada em seguida em sacos de polietileno trançado e colocada em terreiro de cimento para remoção do excesso de água. Amostras de cada variedade foram retiradas, para determinação do teor de água. A fim de evitar possíveis alterações no café em função do seu alto teor de água, todo o material foi mantido em câmara fria a 5°C.

Para obter os demais níveis de umidade, cerca de 5 kg de café úmido, de cada uma das variedades, foram colocados em estufa com ventilação forçada, com temperatura constante de 60°C. O peso final, correspondente para cada nível de umidade desejado, foi calculado a partir da equação 2:

$$P_f = P_i - (P_i \times P_Q)$$

em que

Pf : peso final (kg);

Pi : peso inicial (kg);

PQ : porcentagem de quebra (%).

$$P Q = \left\{ \left(\frac{U_i - U_f}{100 - U_f} \right) \right\} \times 100$$

em que

Ui : umidade inicial (% b.u.);

Uf : umidade final (% b.u.).

Após a secagem, foram obtidos os seguintes níveis médios de umidade:

Catuai: 48,12%, 38,85%, 34,03%, 28,07%, 23,01%, 21,35%, 16,87%, 12,76%, 12,61%.

Catuai Vermelho: 45,27%; 41,18%; 33,37%; 29,65%; 27,18%; 20,71%; 13,62%; 12,96%; 10,16%.

Catuai Amarelo: 47,98%; 44,14%; 34,26%; 29,46%; 25,29%; 19,50%; 13,53%; 11,39%; 10,10%.

Acaiá: 46,07%, 40,63%, 35,55%, 28,4%, 25,71%, 25,22%, 20,12%, 15,62%, 12,3%.

Rubi: 47,64%, 40,59%, 36,64%, 29,03%, 31,17%, 22,43%, 16,24%, 15,83%, 12,11%.

O teor de água foi determinado usando-se o método-padrão de estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, durante 24 horas (Brasil, 1992).

A porosidade da massa granular de café foi determinada utilizando um picnômetro de comparação a ar, em três repetições para cada nível de umidade das cinco variedades estudadas, conforme metodologia detalhadamente descrita por Almeida (1979), Sasseron (1984) e Prado (1978). A porosidade foi calculada a partir da equação 1.

O picnômetro foi calibrado com intuito de corrigir possíveis perdas de ar nas mangueiras de

(2)

interligação. Para a calibração do picnômetro, foram utilizados volumes de água variando de 0 a 100%, com intervalos de 10 pontos percentuais. Por meio de uma equação de regressão com $R^2 = 0,9998$, entre

(3)

volume de água e porosidade observada (%), obteve-se a equação 5 para a correção da porosidade calculada.

$$P_{\text{cor}} = 1,3264 * P + 0,105 \quad (4)$$

em que

P_{cor} : porosidade corrigida;

P : porosidade calculada a partir da equação 2 em (%).

Para determinação da massa específica aparente do café cereja descascado, foi utilizado um dos cilindros do picnômetro, com volume igual a $7,418 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, anexado a uma estrutura com um funil preso a um suporte de altura fixa, para garantir um carregamento homogêneo da massa de grãos. O cilindro, inicialmente vazio e em seguida contendo amostras de café, foi pesado usando-se uma balança analítica de 0,01 g de precisão, com três repetições para cada um dos nove níveis de umidade das cinco variedades estudadas. A massa específica aparente foi calculada a partir da equação 5.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

em que

ρ : massa específica (kg. m^{-3});

m : massa do grão (kg);

V : volume da massa do grão (m^3).

Foram realizadas, entre as variáveis, análises estatísticas quantitativas, determinando-se as equações de regressão a 95% de confiabilidade com base nos coeficientes de determinação R^2 apresentados, objetivando determinar a natureza e o comportamento da curva de resposta destas em função dos tratamentos propostos. As análises de regressão foram precedidas de uma análise de variância, a fim de comprovar estatisticamente se os dados apresentavam diferença significativa entre os tratamentos. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em três repetições, com um fator variante (teor de água) nos nove níveis de umidade.

A análise de variância baseou-se no seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + v_i + \tau_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que

y_{ijk} : observação tomada na i -ésima variedade, j -ésimo teor de água e κ -ésima repetição;

μ : constante do modelo;

v_i : efeito da i -ésima variedade;

τ_j : efeito da j -ésimo teor de água;

δ_{ij} : efeito da interação da i -ésima variedade com j -ésimo teor de água;

ε_{ijk} : erro experimental associado à observação y_{ijk} teor de água.

O modelo de regressão foi apresentado por :

$$Y_{ij} = a + bx_j + cx_j^2 + d_{ij}$$

sendo para cada $i = 1, 2, 3, 4$ e 5 .

em que

$a, b, e c$: coeficientes de regressão;

d_{ij} : efeito do desvio de regressão;

x_j : i -ésimo teor de água;

Y_{ij} : média do j -ésimo teor de água.

Todas as análises foram feitas utilizando o programa SISVAR 4.0, segundo Ferreira (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura consultada apresenta diversas referências às propriedades físicas de produtos agrícolas. Valores de massa específica e porosidade, entre outras propriedades físicas, já foram determinados para o café por vários autores. Entretanto, resultados como os obtidos neste trabalho, demonstrando variações nas propriedades físicas para diferentes variedades de café cereja descascado em função do teor de água, ainda não haviam sido descritos. Esses resultados possuem grande importância na otimização de sistemas de secagem e nos trabalhos de simulação matemática. Além disso, em épocas de crise, como a atualmente vivida pelos cafeicultores, pequenas diferenças nos custos de secagem, por exemplo, podem definir se o processo será ou não economicamente viável.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise de variância do efeito das variedades e do teor de água sobre a massa específica aparente e a porosidade. Observou-se que a interação variedade x teor de água afetou significativamente, em nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$), os valores das propriedades físicas do café cereja descascado, não sendo possível ajustar uma única equação para explicar as variações constatadas. Buscou-se, então, ajustar equações separadamente para cada uma das variedades estudadas.

Considerando que tanto a equação linear como a quadrática são modelos simples e explicam satisfatoriamente as variações das propriedades físicas estudadas em função do teor de água, usou-se o critério de maior coeficiente de ajuste (R^2) para a escolha da equação a ser adotada.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância da massa específica aparente e porosidade para cinco variedades de café cereja descascado e nove teores de água

Fonte de Variação		Massa específica	Porosidade
Variedade	4	884,039395*	19,295855*
Teor de água	8	65048,212161*	1113,752185*
Variedade x Teor de água	32	302,482978*	5,672869*
Resíduo	90	10,768483	1,234491
CV (%)		0,70	1,77
Média geral		468,214442	62,6388370

* Significativo a 5% de probabilidade.

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os resultados obtidos e as equações ajustadas para massa específica aparente e porosidade, respectivamente, para as variedades estudadas em função do teor de água. Observa-se que o valor da massa específica do café cereja descascado aumentou com a elevação do teor de água do produto em todos os intervalos testados; já a porosidade diminuiu com o aumento do teor de água e o modelo quadrático foi o que apresentou o melhor coeficiente de ajuste (R^2) para todas as variedades. Relações quadráticas foram igualmente encontradas por Afonso Júnior e Corrêa (2000) para o café descascado, em coco e despulpado, para a variedade Catuaí Vermelho, e por Couto et al. (1999) para grãos de café das variedades Catuaí e Timor, em dois estádios de maturação.

É importante ressaltar que, ao contrário do que ocorre com a maioria dos grãos, a massa específica aparente do café cereja descascado aumentou para os níveis mais elevados do teor de água.

A massa específica aparente é uma relação entre a massa do produto e o volume ocupado por este, considerando os espaços vazios. Nos grãos, o aumento do teor de água resulta num aumento na massa dos grãos, sendo, porém, acompanhado de aumento mais que proporcional no volume dos grãos, resultando na

redução da massa específica aparente. O mesmo não acontece com o café cereja descascado, em razão da presença do pergaminho, que impede grandes variações no seu volume. Dessa forma, o aumento do teor de água dos grãos resulta num aumento no valor da massa do produto sem, no entanto, ocorrer grandes variações no volume deste, resultando num aumento da massa específica aparente.

O equipamento usado para determinar a porosidade emprega ar, que possui capacidade de penetrar entre o pergaminho e a semente, explicando, assim, o aumento observado na porosidade com a redução do teor de água do café cereja descascado. O pergaminho apresenta pequenas variações no seu tamanho, em razão de sua estrutura mais rígida conferida pela composição rica em lignina e celulose. Dessa maneira, quando o teor de água do café cereja descascado reduz, o volume da semente também diminui, não ocorrendo, no entanto, o mesmo com o pergaminho. Assim, os espaços vazios da massa de café cereja descascado provavelmente têm pouca variação, mas ocorre aumento nos espaços vazios entre a semente e o pergaminho.

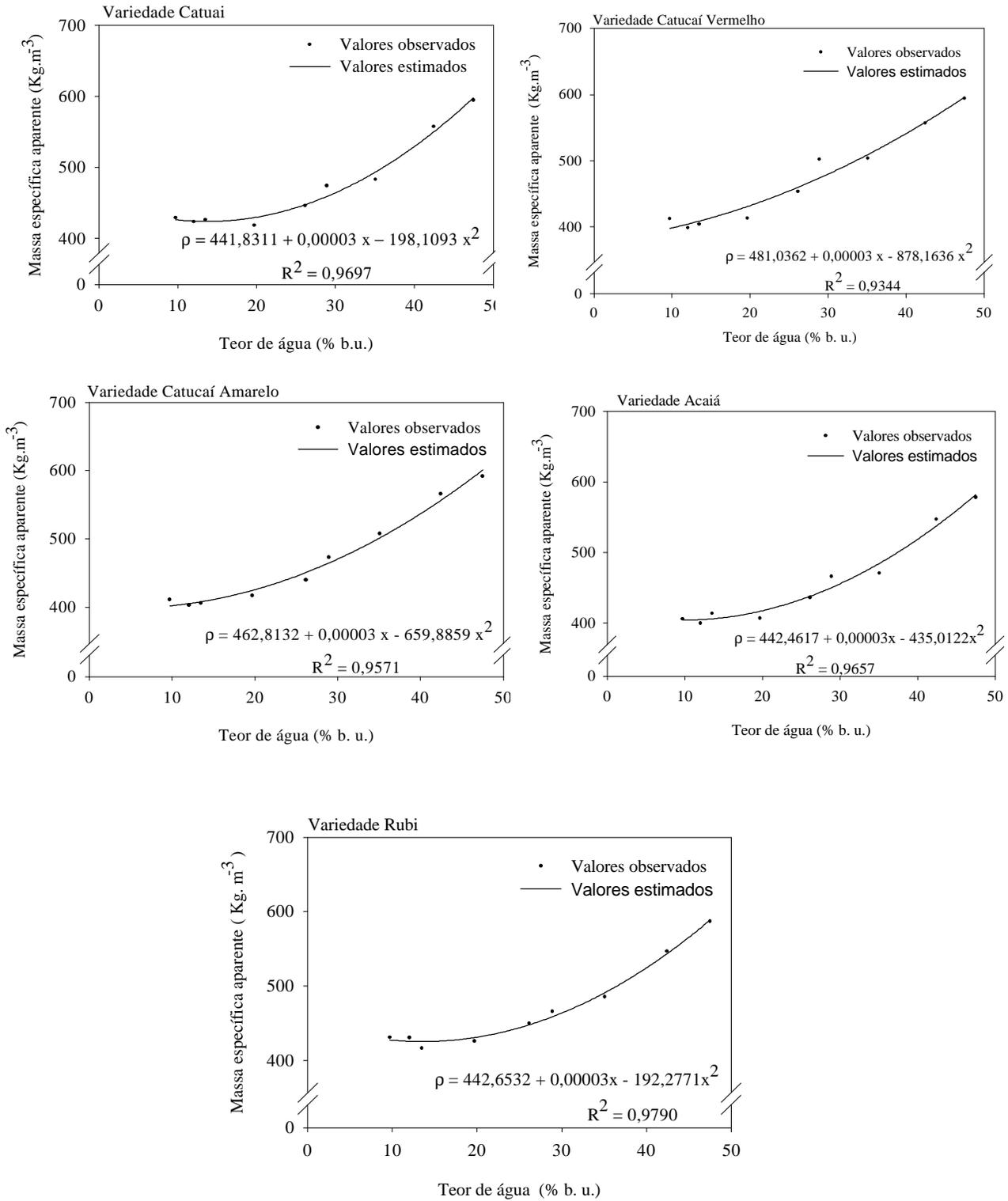


Figura 1 - Gráficos da massa específica das variedades estudadas.

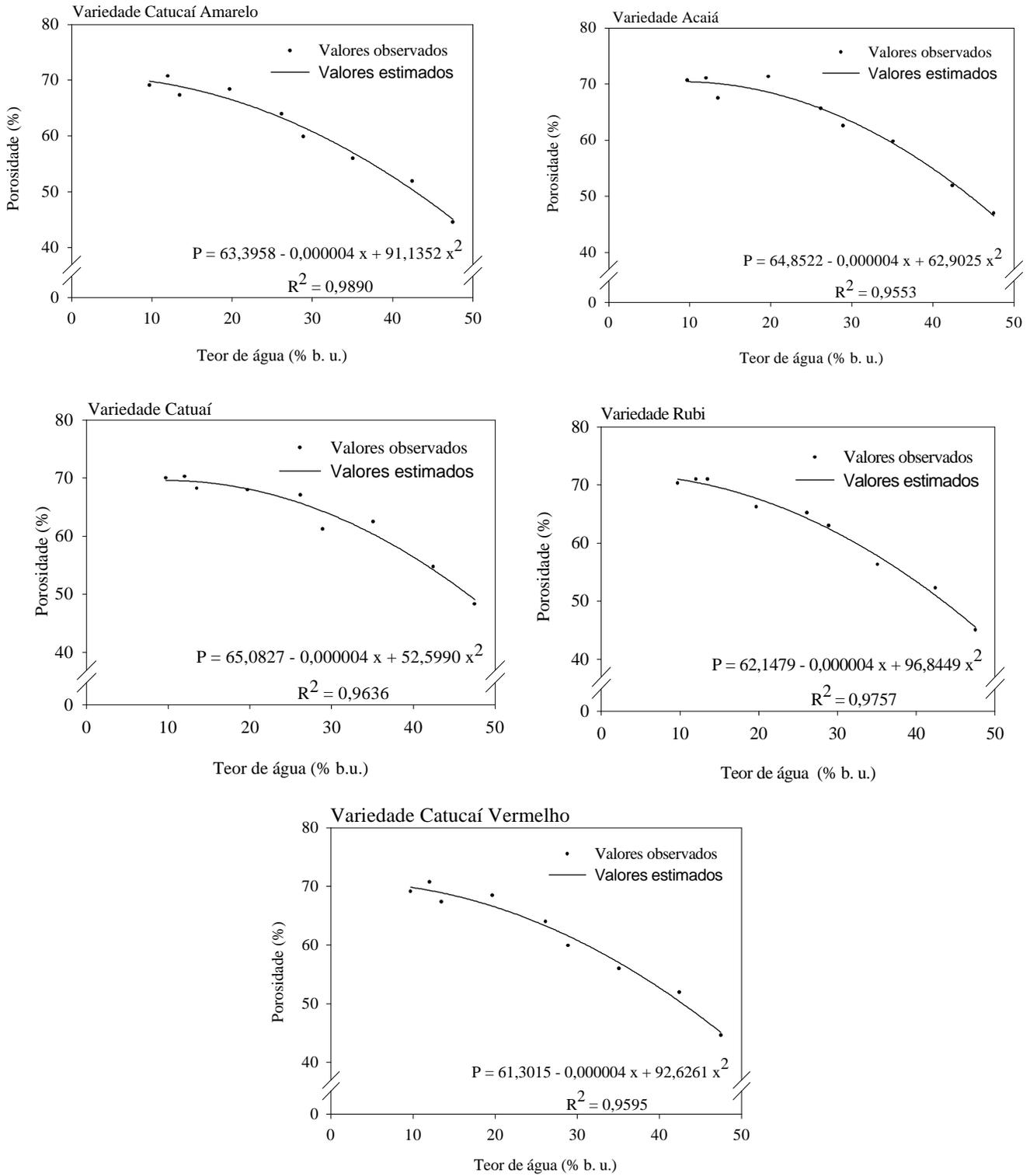


Figura 2 - Gráfico da porosidade do café cereja descascado das variedades estudadas.

CONCLUSÕES

Considerando a análise dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- Os valores da massa específica aparente e da porosidade variaram significativamente ($P < 0,05$) em função das variedades estudadas.
- Não foi possível ajustar uma única equação para todas as variedades para cada uma das propriedades físicas estudadas em função do teor de água.
- A massa específica aparente aumentou com o aumento do teor de água para todas as variedades estudadas e variou de 398,62 a 594,66 $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ para teores de água variando de 9,72 a 47,51% (b.u.).
- A porosidade diminuiu com o aumento do teor de água para todas as variedades estudadas e variou de 45,04 a 74,33%.
- A equação polinomial de 2º grau foi a que melhor se ajustou aos dados observados para todas as variedades analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Propriedades térmicas dos grãos de café. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1,2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos...** Brasília; Embrapa Café e MINASPLAN 2000. v.2, p. 1142-1146.
- ALMEIDA, B.V. **Determinação das propriedades físicas de amêndoas de cacau.** Viçosa: UFV, 1979. 70p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Agrícola).
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma agrária, **Regras para análise de sementes (RAS)**, Brasília, 1992. 365p.
- BROWNE, D. A. Variation of the bulk density of cereals with moisture content. **Journal of Agricultural Engineering Research.** v.7, n.4, p.288- 290, 1962.
- CHANDRASEKAR, V.; VISWANATHAN, R. Physical and thermal properties of coffee. **Journal Agricultural Engineering**, India, n.73, p.227-234, feb. 1999.
- COUTO, S.M.; MAGALHÃES, A.C.; QUEIROZ, D.M.; BASTOS, I.T. Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.61-68, 1999.
- DIAS, M.C.L.L.; BARROS, A.S.R. Avaliação de métodos para remoção da mucilagem de sementes de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.15, n.2, p.191-195, 1993.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA UFSCar, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFScar, 2000, p.255-258.

JAYAS, D.S.; SOKHANSANJ, S.; WHITE, N.D.G. Bulk density and porosity of two canola species. American Society of Agricultural Engineers, **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.32, n.1, p.291-294, 1989.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York, Gordon and Breach, 1972. 734 p.

PRADO, E.P. **Secagem de sementes de cacau em camadas finas, a sessenta e oitenta graus celsius e variação da porosidade durante o processamento**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1978. 31p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola).

SASSERON, J.L. **Avaliação de propriedades físicas e curvas de secagem, em camadas finas, de amêndoas de cacau (*Theobroma cacao* L.)**. Viçosa: UFV, 1984. 61p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola).