

**Análise da cinética de secagem e do encolhimento das cascas de cacau****Analysis of the drying kinetics and shrinkage of cocoa shells**

DOI:10.34117/bjdv5n11-319

Recebimento dos originais: 14/10/2019

Aceitação para publicação: 27/11/2019

**Geraldo Luiz Carreiro Junior**

Aluno de Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/Engenharia Química

Endereço: Alto Universitário, S/Nº - Guararema, Alegre – ES, Brasil

Email: geraldolcjr@gmail.com

**Alexandra de Oliveira Vieira Martins**

Aluno de Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/Engenharia Química

Endereço: Alto Universitário, S/Nº - Guararema, Alegre – ES, Brasil

Email: aovm748@gmail.com

**Ariany Binda Silva Costa**

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/Engenharia Química

Endereço: Alto Universitário, S/Nº - Guararema, Alegre – ES, Brasil

Email: ariany.costa@ufes.br

**Robson Costa de Sousa**

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Instituição: Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/Engenharia Química

Endereço: Alto Universitário, S/Nº - Guararema, Alegre – ES, Brasil

Email: robson.sousa@ufes.br

**RESUMO**

Buscando contribuir com estudos relacionados ao aproveitamento de resíduos agrícolas em biomassa, o objetivo do presente trabalho consistiu em analisar a interferência que a secagem exerceu nas dimensões características das cascas de cacau. Para o desenvolvimento deste trabalho, as amostras foram tratadas para que tivessem a dimensão de 1x1x1cm. Os ensaios foram realizados em uma estufa de convecção forçada nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C, com a finalidade de analisar o comprimento, espessura, perímetro projetado, área projetada, volume, massa específica e porosidade do material na secagem. Os resultados obtidos mostraram que o aumento da temperatura de processo promoveu a redução do tempo para as amostras atingirem a umidade de equilíbrio. Também foi verificado que este aumento influenciou na densidade aparente, bem como, acarretou no aumento da porosidade e na redução das dimensões características trabalhadas.

**Palavras-chave:** Cinética de Secagem; Encolhimento, Cascas de Cacau.

**ABSTRACT**

In order to contribute to studies related to the use of agricultural residues in biomass, the objective of the present work was to analyze the interference that drying had on the characteristic dimensions of cocoa husks. For the development of this work, the samples were treated to have a size of 1x1x1cm. The tests were performed in a forced convection oven at temperatures of 50, 60, 70 and 80 ° C, in order to analyze the length, thickness, projected perimeter, projected area, volume, specific mass and porosity of the drying material. The obtained results showed that the increase of the process temperature promoted the reduction of the time for the samples to reach the equilibrium humidity. It was also verified that this increase influenced the apparent density, as well as increased porosity and reduced the characteristic dimensions worked.

**Keywords:** Drying Kinetics; Shrinkage, Cocoa Shells.

**1. INTRODUÇÃO**

O cacau é um fruto que tem ganhando muito destaque no mercado nacional. Além de servir como base para as indústrias alimentícias, também pode ser utilizado como matéria prima para as indústrias cosmética, farmacêutica, de adubo orgânico e alimento animal (LIMA 2010; BRASIL, 2019).

O seu produto mais valioso é o chocolate. No entanto, a produção do mesmo gera quantidades apreciáveis de resíduos ainda nas lavouras cacaueiras, decorrente da primeira etapa do processamento para a obtenção das sementes. Sabendo que a casca é o principal resíduo e que para produzir uma tonelada de amêndoas secas são geradas sete toneladas de cascas frescas, fica claro que existe a possibilidade de exploração deste material. Apesar disso, as cascas ficam muito tempo depositadas nos solos das lavouras e podem causar a proliferação de fungos patogênicos como a vassoura-de-bruxa, uma das principais doenças que acometem o cacaueiro (SODRÉ et al., 2012; BATISTA, 2014; GALDINO et al., 2016).

Diante deste cenário, a secagem que tem se mostrado uma boa alternativa para o beneficiamento deste resíduo, pois os fenômenos de transferência de calor e massa que envolvem esta operação unitária possibilitam a facilidade de transporte, de armazenamento e promovem o aumento da vida útil de materiais biológicos. Contudo, como esses tipos de materiais possuem características intrínsecas que variam entre si, o comportamento das cascas de cacau durante a secagem não pode ser generalizado, o que justifica a realização do estudo cinético desta matéria prima (GOUVEIA et al., 1999).

Durante o processo de secagem a estrutura física do material é afetada, promovendo o encolhimento. A remoção de água provoca um diferencial de pressão entre a parte interna e a externa do material úmido acarretando na redução de suas dimensões, ou seja, com a desidratação os espaços que anteriormente eram ocupados pela água passam a ser preenchidos por matéria seca. Além disso, também ocorre a variação na massa específica do material, alterando assim as suas

propriedades mecânicas, deixando-o mais quebradiço, por exemplo (KATEKAWA, 2006; ARRIECHE, 2003; ARRIECHE E SARTORI 2009).

A alteração estrutural das amostras pode ser avaliada pelo aumento da porosidade durante a secagem. Essa condição ocorre quando, em certa etapa do processo, o volume da amostra fica estagnado enquanto sua massa continua a decair, provocando o surgimento de vazios no seu interior. Este cenário também é marcado pelo decréscimo da densidade, o que também pode ser utilizado como indício do aumento da porosidade (ARRIECHE, 2003).

O estudo nesta área torna-se interessante visto a importância de compreender o encolhimento dos materiais biológicos durante o processo de secagem, principalmente, para o desenvolvimento de modelos matemáticos que envolvam os fenômenos de transferência de calor e massa. Dentro desse contexto, o presente trabalho tem por finalidade analisar o encolhimento das cascas de cacau durante o processo de secagem, a partir de um estudo detalhado do comportamento estrutural deste material quando submetidos a diferentes níveis temperaturas de processo.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. MATERIAL**

O material utilizado para a realização deste trabalho foram as cascas de cacau da espécie Criollo, obtidas na zona rural de Conceição do Castelo, na região sul do Espírito Santo.

O pré-tratamento das cascas consistiu na padronização do formato e do tamanho das amostras, cortando-as no formato de prismas de base quadrada com lados de 1cm, contendo uma parte das mesmas com o epicarpo e a outra parte sem o epicarpo.

### **2.2. ENSAIOS DE SECAGEM**

Os ensaios de secagem foram realizados em estufa de convecção forçada, em que, primeiramente, ajustou-se a temperatura a ser trabalhada no equipamento e esperou-se que o estado estacionário fosse atingido. Em seguida, após o tratamento das cascas, as mesmas foram previamente pesadas em balança semi-analítica e inseridas na estufa para dar início aos ensaios experimentais.

Na sequência, foram realizadas pesagens periódicas das amostras a fim de monitorar o decaimento da massa, ou seja, a perda de umidade durante a secagem. Essa etapa foi realizada até que a mesma ficasse constante, atingindo assim, o equilíbrio. Em seguida, as amostras foram submetidas a uma estufa a 105°C durante 24 horas, para obtenção da massa seca. Estes procedimentos foram realizados em triplicata, na tentativa de minimizar os erros aleatórios

recorrentes da variabilidade do material biológico, para as temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C e para as duas condições de amostra (com e sem epicarpo).

Com esses dados foi calculado a umidade em base seca e o adimensional de umidade de cada ponto experimental, e, por fim, construído as curvas de cinética de secagem. Para calcular os valores de umidade em base seca ( $X_{bs}$ ) e os consequentes valores dos adimensionais de umidade ( $Y$ ), foram utilizadas as equações apresentadas por Park et al. (2007), conforme pode ser visto nas Equações 1 e 2, respectivamente.

$$X_{bs}=M_w/M_{sc} \quad (1)$$

$$Y=(X-X_{eq})/(X_0-X_{eq}) \quad (2)$$

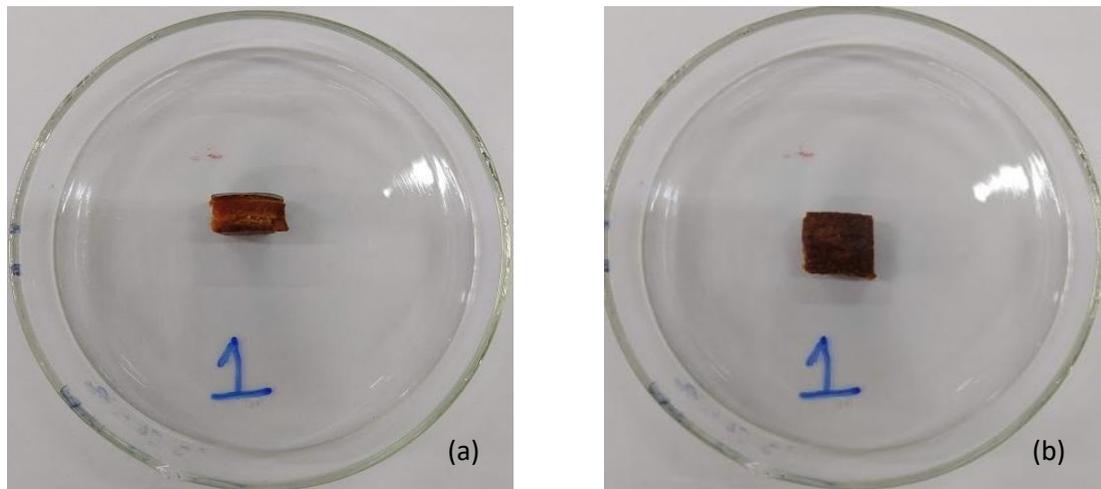
Nas quais “ $M_w$ ” a massa de água, “ $M_{sc}$ ” a massa da amostra seca, “ $X_{eq}$ ” a umidade de equilíbrio e “ $X_0$ ” a umidade inicial da amostra.

### 2.2.1 Encolhimento

Para quantificar o encolhimento das amostras durante a secagem, utilizou-se fotos da evolução das cascas de cacau tiradas durante os ensaios e o software ImageJ para o processamento de imagens.

A captura das imagens foi realizada durante os intervalos de pesagem das amostras, e, para a realização dessa etapa, foi utilizada uma câmera de doze megapixels. As imagens do material foram obtidas em um fundo branco, a fim de aumentar o contraste, e foram colhidas tanto a vista superior quanto a vista lateral de cada ponto, conforme pode ser observado na Figura 1. Nesta etapa do projeto também foram realizados os experimentos em triplicata para as quatro temperaturas estudadas.

Figura 1 – Representação das diferentes medidas realizadas em uma amostra de cascas de cacau para os cálculos de dimensões características. (a) vista lateral (espessura) e (b) vista superior (área projetada). Fonte: Acervo pessoal.



As dimensões analisadas no trabalho foram as seguintes: comprimento, perímetro projetado, área projetada, espessura e volume. Com exceção do volume, que foi obtido pelo produto entre a espessura e a área projetada, as outras dimensões foram obtidas pelo software ImageJ, que calcula a partir de um referencial as dimensões analisadas. No caso deste estudo, o referencial adotado foi o diâmetro da placa de Petri (10 cm).

Em seguida, os dados foram compilados e calculou-se o grau de encolhimento de cada dimensão, conforme a Equação 3. Para o melhor estudo dos dados, foram construídas curvas do grau de encolhimento em função do adimensional de umidade.

$$(N_0 - N) / N_0 \quad (3)$$

Onde “ $N_0$ ” é a medida inicial e “ $N$ ” é a medida atual das grandezas.

Como os ensaios de secagem foram realizados em triplicata, a mesma quantidade de medidas para comprimento, área projetada, perímetro projetado e volume foram obtidas para as quatro temperaturas trabalhadas. Em seguida foi calculado a média e o desvio padrão para cada condição e, a partir disso, plotou-se os gráficos do grau de encolhimento em função do adimensional de umidade para as cinco grandezas.

### 2.2.2 Densidade aparente e Porosidade

Para determinar a evolução da porosidade e da densidade aparente durante a secagem das cascas de cacau, primeiramente, selecionou-se cinco pontos das curvas cinéticas, que representassem bem a mudança estrutural das amostras. O procedimento consistiu em retirar cada

amostra de dentro da estufa no intervalo de tempo pré-estabelecido e, em seguida, aferir a massa e o volume de cada pedaço de casca. A primeira medida era feita em balança SEMI-analítica e a segunda a partir de um procedimento em proveta, o qual consistia em avaliar a diferença de volume após a introdução da amostra em 10 mL de ciclo-hexano. Este procedimento também foi realizado em triplicada.

A densidade aparente ( $\rho$ ) foi calculada a partir da definição apresentado na Equação 4. Já a porosidade foi determinada a partir dos volumes obtidos pelas análises de proveta ( $V_p$ ) e o volume teórico ( $V_c$ ), de acordo com a Equação 5. No entanto, o volume teórico foi determinado conforme apresentado na Equação 6 (ARRIECHE 2003).

$$\rho = M/V \quad (4)$$

$$P = (V_p - V_c) / V_p \quad (5)$$

$$V_c = (m_s / \rho_s) * [1 + (\rho_s / \rho_w) * X_{bs}] \quad (6)$$

Nas quais  $m_s$  e  $\rho_s$  são, respectivamente, a massa e massa específica aparente da amostra seca, e  $\rho_w$  é a massa específica da água, para qual adotou-se 0,997 g/cm<sup>3</sup>.

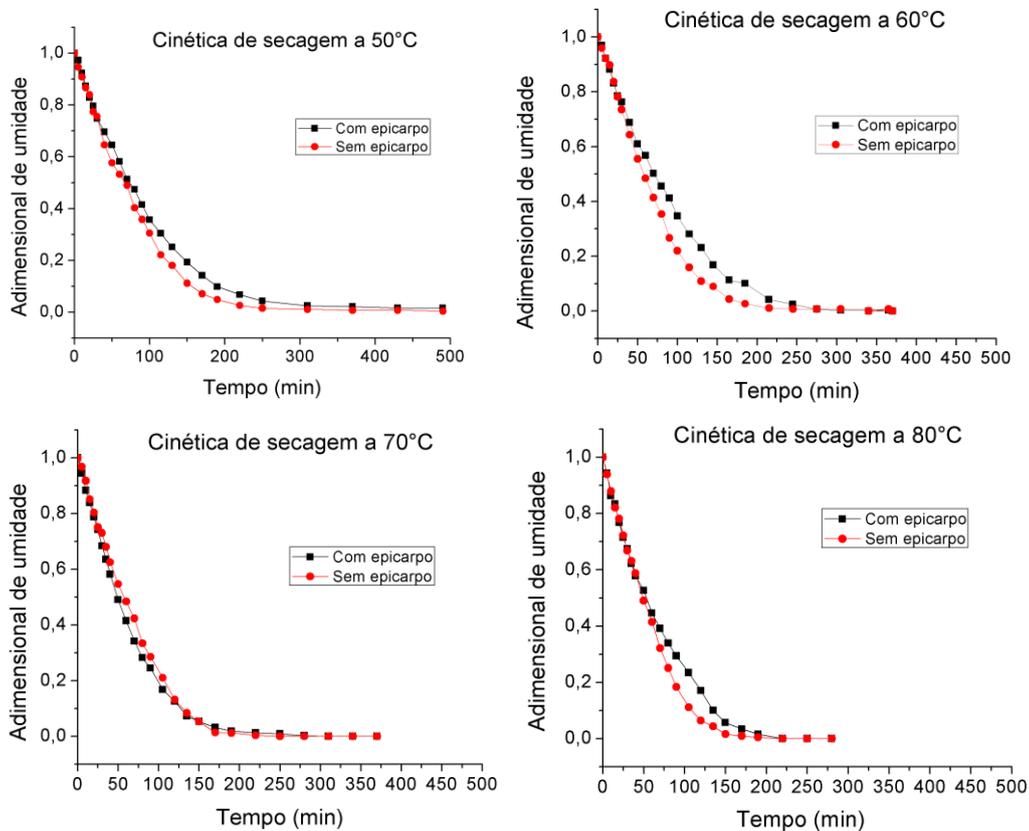
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. SECAGEM

Na Figura 2 são apresentados os gráficos de cinética de secagem com os valores médios das razões de umidades, parametrizados nas cascas de cacau com e sem epicarpo, para as quatro temperaturas estudadas neste trabalho.

Conforme observado na figura verifica-se que o aumento da temperatura promoveu a redução do tempo de processo para alcançar-se o equilíbrio, sendo de aproximadamente 320 min na temperatura de 50°C e 220 min na temperatura de 80°C. Este comportamento está diretamente relacionado com o fornecimento de energia às amostras, pois o aumento da temperatura favoreceu a evaporação da umidade, acelerando assim o processo de secagem.

Figura 2 – Curvas de cinética de secagem da casca de cacau nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C; parametrizado as amostras com e sem epicarpo. Fonte: Acervo pessoal.



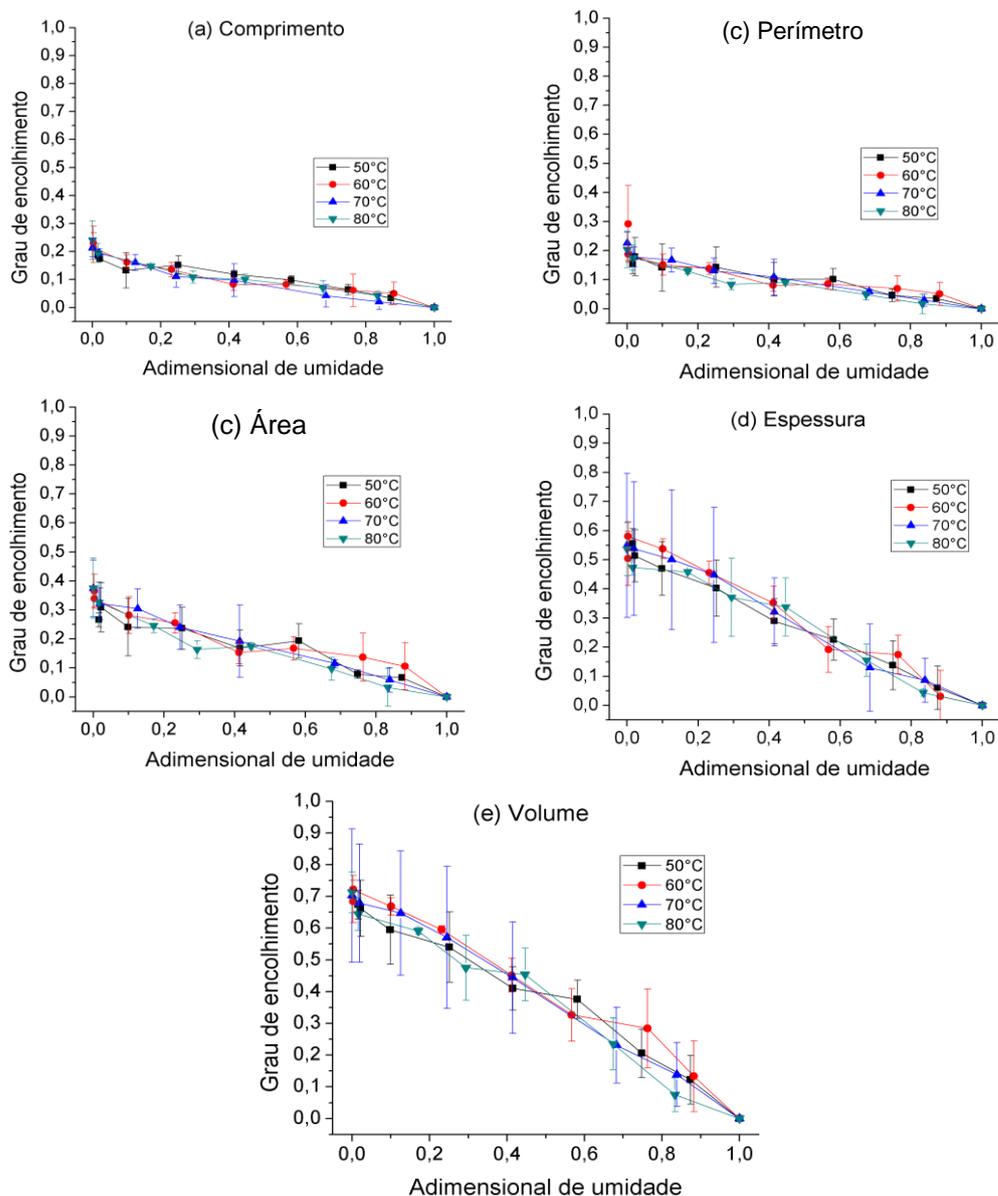
Ainda analisando a Figura 2, é possível perceber que a presença do epicarpo retardou um pouco a secagem das cascas. Isso, provavelmente, deve-se ao fato dessa estrutura funcionar como uma barreira para a difusão da água de dentro do material para o meio externo. Porém essa diferença não foi tão expressiva, provavelmente porque nas amostras apenas um lado possui a presença do epicarpo, o restante dos lados não apresentava esta barreira física. Por esse motivo, no que refere-se à análise do encolhimento, serão apresentados apenas os resultados das amostras com epicarpo.

### 3.2. ENCOLHIMENTO

Na Figura 3, serão apresentadas as curvas do grau de encolhimento em função do adimensional de umidade para cada dimensão característica estudada. Para a melhor compreensão dos dados, os gráficos devem ser lidos da direita para a esquerda, começando do ponto de adimensional de umidade máximo (grau de encolhimento zero) e finalizando na umidade nula (grau de encolhimento máximo obtido).

A partir da Figura 3, foi verificada que a perda de umidade durante o processo de secagem promoveu uma redução das dimensões características das cascas de cacau. No entanto, para as dimensões realizadas de maneira direta, observou-se que a perda de umidade foi perceptível, principalmente, para espessura da amostra com uma redução em média 54%. Das dimensões características determinadas de maneira indireta, a partir de equações, o volume foi o que apresentou o maior grau de encolhimento, correspondendo a uma redução média de 70%.

Figura 3 – Curvas do encolhimento da casca de cacau em função do adimensional de umidade para o comprimento (a), perímetro (b), área (c), espessura (d) e volume (e), parametrizados nas temperaturas de 50, 60, 70, 80°C. Fonte: Acervo pessoal.

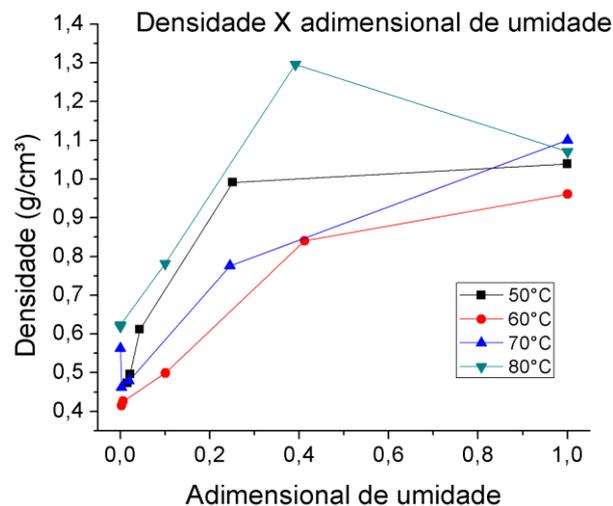


Na figura também foi verificado que o comportamento do encolhimento foi muito semelhante em todas as temperaturas, mostrando que esta variável pouco interferiu no grau de encolhimento do material. Entretanto, os resultados apresentaram uma tendência à medida que o processo de secagem ocorreu, podendo-se, desta forma, considerar que a secagem das cascas de cacau foi uniforme, ou seja, a variação de volume da amostra correspondeu ao volume de água perdido durante os ensaios experimentais.

### 3.3 POROSIDADE

Com o intuito de analisar o comportamento da porosidade das cascas de cacau, primeiramente, foram construídos gráficos com os valores médios da densidade aparente em função do adimensional de umidade, conforme apresentado na Figura 4. Estas curvas também devem ser analisadas da direita para esquerda, ou seja, iniciando a interpretação no ponto máximo de umidade e finalizando no ponto mínimo.

Figura 4 - Curvas de densidade aparente das amostras com epicarpo em função do adimensional de umidade, parametrizado nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C. Fonte: Acervo pessoal.



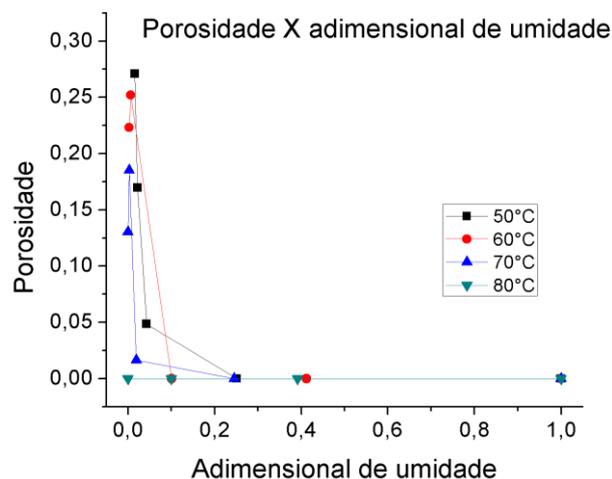
Na Figura 4 pode-se observar que ocorreu um comportamento semelhante em todas as temperaturas, que foi o declínio da densidade aparente das cascas de cacau a partir do adimensional de umidade igual a 0,4. Este declínio pode estar relacionado com o período de taxa decrescente de secagem. Pois, neste período, a taxa com que a evaporação ocorre na superfície da casca é maior do que a taxa com que a umidade se desloca do interior para a superfície do material, favoreceu a formação de poros vazios na estrutura, reduzindo assim a densidade das amostras (ARRIECHE 2003).

Com relação à influência da temperatura na densidade final das cascas de cacau, ainda é necessário um estudo mais detalhado. Pois, o aumento da temperatura não interferiu no volume final das amostras, no entanto, promoveu uma maior redução da massa ao final do processo. Desta forma, o aumento da temperatura deveria promover a redução da densidade aparente das cascas ao final do processo e isso não foi observado.

Na Figura 5 são apresentados os gráficos dos valores médios da porosidade em função do adimensional de umidade, para as quatro temperaturas estudadas. Neste caso também a interpretação do gráfico deve ser feita da direita para a esquerda.

A partir desta figura pode-se confirmar que o aumento da porosidade do material iniciou-se quando o adimensional de umidade foi inferior 0,4, corroborando assim o que foi observado na Figura 4. Isso pode ser justificado, pois a partir deste momento a secagem apresentou um baixo teor de umidade na sua superfície e promoveu o aumento dos espaços vazios no interior das cascas de cacau. Neste período então, a temperatura da amostra aumentou, proporcionando a estabilização do encolhimento, enquanto que a massa continuou a decair até que fosse alcançado o equilíbrio ao final do processo (ARRIECHE 2003). Com relação ao comportamento encontrado da porosidade para os adimensionais de umidade superiores a 0,4, pode-se considerar que corresponde a secagem das cascas de cacau no período de taxa constante, uma vez que a porosidade não foi afetada neste intervalo.

Figura 5. Curvas de porosidade das amostras com epicarpo em função do adimensional de umidade, parametrizado nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C. Fonte: Acervo pessoal.



Na Figura 5 ainda é possível observar que a porosidade final das cascas aumentou com a redução da temperatura. Pode-se considerar que a secagem das cascas de cacau nas baixas temperaturas interferiu menos na mudança estrutural das cascas de cacau, possibilitando assim que

a porosidade fosse maior. No entanto, para a temperatura de 80°C seriam necessários um estudo mais detalhado, pois houve uma redução no tamanho da amostra e na densidade aparente durante o processo de secagem, ou seja, deveria haver um aumento de porosidade e isso não foi observado experimentalmente.

#### **4. CONCLUSÃO**

Como foi visto neste trabalho, a secagem da casca de cacau mostrou que o aumento da temperatura promoveu a redução do tempo para alcançar a umidade de equilíbrio. Diante dos resultados obtidos para o encolhimento, foi verificada uma tendência para todas as dimensões características estudadas. Com relação à estrutura das amostras, dentro das condições estudadas foi observada uma redução da densidade aparente e o aumento da porosidade, assim que as cascas de cacau atingiram um adimensional de umidade inferior a 0,4.

#### **REFERÊNCIAS**

ARRIECHE, L. S. Evolução da forma e encolhimento de um sistema gel durante a secagem por convecção forçada. 2003. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

ARRIECHE, L.S.; SARTORI, D. J. M.; Secagem de partículas isoladas. In: FREIRE, J. T.; SILVEIRA, A. M. (Ed.). Fenômenos de Transporte em Sistemas Particulados: Fundamento e Aplicações. São Carlos: Suprema, 2009, p. 3-25.

BRASIL. CONAB. (Comp.). Cacau - Análise Mensal - Maio/2019. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cacau/item/11500-cacau-analise-mensal-maio-2019>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

GALDINO, C. M.; NASCIMENTO, B. P.; SANTOS, M. M. N.; MENEGUELO, A. P.;

ARRIECHE, L. S. (2016), Estudo da cinética de secagem das cascas de cacau, Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza - CE.

GOUVEIA, Josivanda Palmeira Gomes de; ALMEIDA, Francisco de Assis Cardoso; MURR, Fernanda Elisabeth Xidied. Estudo da difusividade e do encolhimento do gengibre (*Zingiber officinale*, Roscoe) durante a secagem. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 1, n. 1, p.51-58, jan. 1999.

KATEKAWA, Marcel Eiki. Análise teórico-experimental do encolhimento: estudo da secagem de banana. 2006. 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Sp, 2006.

LIMA, U. Matéria prima dos alimentos. 2.ed. Sao Paulo: Blucher, 2010 p. 238-331.

MERCADO DO CACAU (Brasil) (Comp.). Produção de cacau rendeu R\$ 1,8 bi em 2018, estima consultoria. 2019. Disponível em: <<http://mercadodocacau.com/artigo/producao-de-cacau-rendeu-r-1-8-bi-em-2018-estima-consultoria>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

PARK, K.J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R.A.; PARK, K. J. B. Conceitos de processo e equipamentos de secagem. CTEA. 2007. Disponível na Internet: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>. 15-03-2011.

SODRÉ, G.A.; VENTURINI, M.T.; RIBEIRO, D.O.; MARROCOS, P.C.L. Extrato da casca do fruto do cacauzeiro como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacauzeiro. Ver. Bras. Frutic., v.34, n. 2, p. 881-887, 2012.