



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**JULIANA CRUZ ALBUQUERQUE**

**CINÉTICA DE SECAGEM DA BORRA DE CAFÉ  
EM ESTUFA COM CIRCULAÇÃO DE AR.**

**CAMPINA GRANDE - PB  
2017**

**JULIANA CRUZ ALBUQUERQUE**

**CINÉTICA DE SECAGEM DA BORRA DE CAFÉ  
EM ESTUFA COM CIRCULAÇÃO DE AR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Química Industrial como requisito para obtenção do título de Bacharel em Química Industrial, pela Universidade Estadual da Paraíba.

**Orientador:** Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida.

**CAMPINA GRANDE - PB  
2017**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A345c Albuquerque, Juliana Cruz.  
Cinética de secagem da borra de café em estufa com  
circulação de ar [manuscrito] / Juliana Cruz Albuquerque. - 2017.  
35 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação: Prof. Dr. Marcello Maia de Almeida.,  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Resíduos agroindustriais. 2. Cinética de secagem. 3.  
Modelos matemáticos. I. Título.

21. ed. CDD 664.028 4

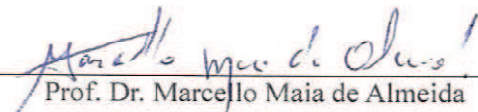
JULIANA CRUZ ALBUQUERQUE


CINÉTICA DE SECAGEM DA BORRA DE CAFÉ  
EM ESTUFA COM CIRCULAÇÃO DE AR


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Química Industrial como requisito para obtenção do título de Bacharel em Químico Industrial, pela Universidade Estadual da Paraíba.

Aprovada em: 27/07/2017.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. Marcelo Maia de Almeida  
DESA-UEPB (ORIENTADOR)

  
Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz  
DESA-UEPB (EXAMINADORA)

  
Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira  
DESA-UEPB (EXAMINADOR)



Ao meu pai, pela dedicação, companheirismo e amizade, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida. O sinto presente, e dando força, em todos os momentos bons e ruins de minha vida.

A minha família, minha mãe Joussiane Machado Cruz, e meu irmão Paulo Renan Cruz Albuquerque, minha irmã Andreza Albuquerque Braga por sempre me apoiarem, incentivarem e estarem presentes em todos os momentos. E em especial a meu pai Darlan Cunha Albuquerque por todo amor, incentivo, paciência e dedicação.

A meu orientador Dr. Marcello Maia de Almeida, pela orientação em dois anos de trabalho e pesquisa. Estando presente em meu crescimento profissional e pessoal, com muita paciência, transmitindo um pouco de sua experiência profissional.

Agradeço a todos os amigos, aos que estiveram antes mesmo de entrar na Universidade e aos conquistados ao longo da graduação, que tiveram o prazer de desfrutar de todo o aprendizado, crescimento pessoal, com companheirismo e diversão.

Aos professores Márcia Ramos Luiz e Fernando Fernandes Vieira, por participarem da banca avaliadora por toda contribuição nas sugestões para melhoria deste trabalho.

A Universidade Estadual da Paraíba pela oportunidade e ao Departamento de Química Industrial pelo apoio.

Ao professor José Arimatéia Nóbrega, coordenador do curso de Química industrial, pelo apoio e incentivo sempre.

Por fim, a todos que estiveram presentes em minha vida, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O referente trabalho estuda a cinética de secagem do resíduo borra de café. Este resíduo sólido apresenta substâncias com potencial de reutilização em diferentes processos, como extração de lipídios. Porém, devido esse resíduo possuir um elevado teor de umidade torna-se necessário diminuir a sua atividade de água, para que dessa forma evite-se a degradação química e biológica e melhore as condições de seu transporte e armazenamento. Realizou-se a secagem em estufa com circulação de ar. Os ensaios foram realizados a partir de um planejamento fatorial  $2^3$  com três repetições no ponto central, com o objetivo de monitorar o comportamento da perda de peso do produto em função do tempo a partir das curvas de secagem. As variáveis independentes foram à temperatura de 50, 60 e 70 °C, a massa de 300, 400 e 500 g e tempo de secagem de 8, 10 e 12 horas. Observou-se que os experimentos realizados com o tempo de secagem de 8 horas não foram possíveis atingir o equilíbrio. As curvas da taxa de secagem exibem um período de aquecimento do material seguido por um longo período de taxa decrescente. De acordo, com os modelos empíricos utilizados no presente trabalho verificou-se que o modelo de Page ajustou-se melhor aos dados experimentais da cinética de secagem, apresentando o Coeficiente de Determinação maior que 99,00%. O teste de AKAIKE apresentou valores mais negativos, o valor mais negativo apresentado foi de -410,254. O Erro Padrão (SE) apresentou valores mais baixos, em que o valor mais baixo apresentado foi de 0,014. Ambos os teste apresentaram melhores resultados para o modelo de Page, quando comparados aos resultados utilizando os modelos matemáticos de Henderson & Pabis e Newton. Contudo através do estudo realizado no presente trabalho, pode-se observar que, como esperado, quanto maior a temperatura maior a taxa de secagem, dessa forma ficou evidente que os experimentos realizados com uma temperatura maior, de 70°C, apresentaram condições de armazenamento melhor, ou seja, apresentaram uma menor umidade final, se comparado com os experimentos realizados utilizando a temperatura mínima de 50°C.

**Palavras-chave:** modelos matemáticos, resíduo, temperatura.

## ABSTRACT

The reference work studies the drying kinetics of coffee residue. This solid residue presents substances with potential for reuse in different processes, such as lipid extraction. However, because this residue has a high moisture content, it is necessary to reduce its water activity, in order to avoid chemical and biological degradation and improve the conditions of its transportation and storage. Drying was carried out in a greenhouse with air circulation. The tests were carried out from a  $2^3$  factorial design with three repetitions at the central point, in order to monitor the behavior of the product weight loss as a function of time from the drying curves. The independent variables were at the temperature of 50, 60 and 70 ° C, the mass of 300, 400 and 500 g and drying time of 8, 10 and 12 hours. It was observed that the experiments carried out with the drying time of 8 hours could not achieve equilibrium. The drying rate curves exhibit a heating period of the material followed by a long period of decreasing rate. According to the empirical models used in the present work, it was verified that the Page model was better adjusted to the experimental data of the drying kinetics, with a Determination Coefficient greater than 99.00%. The AKAIKE test presented more negative values, the most negative value presented was -410,254. The Standard Error (SE) presented lower values, where the lowest value presented was 0.014. Both tests presented better results for the Page model, when compared to the results using the mathematical models of Henderson & Pabis and Newton. However, in the present study, it can be observed that, as expected, the higher the temperature, the higher the drying rate, so it was evident that the experiments performed with a higher temperature of 70 ° C presented storage conditions Better, that is, they presented a lower final humidity, when compared with the experiments carried out using the minimum temperature of 50 ° C.

**Key words:** Mathematical models, residue, temperature.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Café	11
3.2 Resíduos Agroindustriais	12
3.2.1 Borra de Café	13
3.3 Cinética de Secagem	14
3.4 Estado da Arte	15
3.5 Aplicação aos Modelos Matemáticos	17
4 METODOLOGIA	18
4.1 Material	18
4.2 Umidade Inicial do Produto	18
4.3 Cinética de Secagem	18
4.3.1 Curvas de Secagem	19
4.4 Aplicação da Cinética de Secagem da Borra de Café aos Modelos Matemáticos	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 Estudo das Curvas da Cinética de Secagem	21
5.2 Estudo da Taxa de Secagem em Função da Umidade Média	22
5.3 Análise Estatística do Planejamento Experimental da Cinética de Secagem	25
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

## 1 INTRODUÇÃO

O café, bebida escura, aromática, não alcoólica, produzida a partir de grãos do fruto do cafeeiro torrados e moídos é a segunda bebida mais popular do mundo, sendo que um terço da população mundial a consome mais do que qualquer outra bebida (à exceção da água) (GEORGE; RAMALAKSHMI e MOHAN RAO, 2008).

De acordo com Notícias Agrícola (2017) a estimativa da produção de café do País alcança 2.782.289 toneladas, ou 46,4 milhões de sacas de 60 kg, aumento de 1,7% em relação ao mês anterior. Os dados foram influenciados pelos aumentos das estimativas de produção do café arábica em São Paulo e do café canephora em Rondônia. O GCEA/SP informou aumento de 19,7% na estimativa da produção este mês, após revisão positiva da área a ser colhida (17,3%) e do rendimento médio (2,1%).

A Revista Globo Rural (2017) estimou que a safra brasileira de café 2017/18, cuja colheita iniciou-se entre abril e maio, vai atingir 49,2 milhões de sacas de 60 kg. A variedade robusta (conilon) totalizará 12,5 milhões de sacas. O clima mais seco no Espírito Santo, principal Estado produtor desta variedade, impedirá uma maior recuperação na produção. Em relação ao café tipo arábica, a safra deve ser de 36,7 milhões de sacas em 2017/18. A produção de arábica deve atingir entre 35,013 milhões e 37,882 milhões de sacas. A produção do conilon está projetada entre 8,64 milhões e 9,63 milhões de sacas.

A borra de café é o resíduo sólido gerado após a extração aquosa á quente a qual são submetidos os grãos de café torrados e moídos ou o resíduo sólido gerado no processo de produção industrial do café solúvel (BRAVO *et al.*, 2013). A quantidade gerada desse resíduo é proporcional à quantidade de café consumido. Estima-se que para cada tonelada de café verde processado sejam gerados 650 kg de borra de café e para cada quilo de café solúvel produzido, sejam gerados 2 kg desse mesmo resíduo (MURTHY e NAIDU, 2012).

Em sua composição química, o café contém entre (7,7%-16%) de lipídeos (BELITZ; GROSCH e SCHIEBERLE, 2009).

O resíduo sólido poroso borra de café, gerado após extração dos compostos solúveis do café torrado, proveniente da indústria de café instantâneo apresenta em sua composição um teor entre (9%-24%) de lipídeos (MARTINEZ-SAEZ, N. *et al.*; 2017)

O Brasil também é um grande consumidor de café e sua borra é um resíduo doméstico diário, em que é gerado em quase todas as casas, comércio, bares e restaurantes, e seu destino final são os lixões e aterros sanitários (SANTOS, 2010).

O mundo vem discutindo alternativas para os combustíveis fósseis, as fontes não renováveis de energia. O que fazer com resíduos que são descartados diariamente e muitas vezes nem percebemos que estamos contaminando o meio ambiente. Observamos que estes assuntos são abordados atualmente com grande frequência, o presente trabalho visa o uso deste resíduo, borra de café, descartado por milhares de pessoas constantemente e quase que diariamente.

São considerados resíduos de origem agrícola aqueles que apresentam grande potencial para serem utilizados na produção de energia, como exemplo, resíduos de culturas agrícolas e de seu beneficiamento ou as palhas, cascas de frutos, cereais, os bagaços, os resíduos das podas de pomares e vinhas, rejeitos madeireiros, entre outros (SAITER, 2008).

Segundo Ferreira-Leitão *et al.* (2010), o aproveitamento de resíduos agroindustriais e florestais destaca-se na produção de combustíveis renováveis, produtos químicos e de energia, uma vez que sua disponibilidade acaba por solucionar o problema do acúmulo de resíduos e evita a contaminação de solos e rios.

O emprego dos resíduos de café como biomassa para geração de energia, bem como na produção de bioetanol e biodiesel, vem sendo estudado como alternativa para o aproveitamento dos resíduos (borra) da bebida de café.

O presente trabalho tem como foco principal o resíduo da borra de café, a partir do qual serão avaliadas as melhores condições de secagem do resíduo; armazenamento; e possibilidades de diversas aplicações em trabalhos futuros com o foco em uma produção mais limpa e desenvolvimento de novos produtos.

Existem vários métodos ou processos para a secagem de gêneros alimentícios. A avaliação da qualidade desses métodos ou processos pode ser feita em termos da eficiência energética, tempo de secagem, qualidade do produto obtido, etc. (PUTRANTO *et al.*, 2008). A remoção da umidade é importante para a conservação da borra de café previamente ao seu uso e também para facilitar o transporte e o armazenamento e possibilitar a extração de compostos hidrofóbicos de interesse tais como os lipídios (ABDULLAH e KOC, 2013).

As informações contidas nas curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos; com elas, pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produtos o qual é utilizado para estimar o gasto energético que por sua vez refletirá no custo de processamento e no preço final do produto (VILELA e ARTUR, 2008).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da secagem e o aproveitamento do resíduo da borra de café, a fim de obter produtos secos e com teores de umidades diferentes para posterior estudo do efeito desta variável sobre a extração de lipídeos da borra de café.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Monitorar a perda de peso do produto em função do tempo.
- Construir as curvas de secagem para melhor entendimento do processo.
- Avaliar os modelos empíricos de cinética de secagem a partir do Coeficiente de Determinação, fazer o teste de AKAIKE e o Erro Padrão.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CAFÉ

O café é uma das bebidas mais consumidas em todo o mundo. A União Europeia é o maior consumidor, com um total de 45,6 milhões de sacas beneficiadas em 2014/2015. Logo em seguida vem os Estados Unidos com o consumo de 25,2 milhões de sacas. E em terceiro lugar o Brasil, com 20,1 milhões de sacas (BRANCO, 2017).

O consumo mundial de café que foi de 150,3 milhões de sacas de 60 kg em 2014, subiu para 152,1 milhões de sacas em 2015 e, nos quatro últimos anos, o crescimento anual manteve média de 2% (EMBRAPA, 2016).

O Brasil é maior produtor de café no mundo, possuindo um parque cafeeiro (café arábica e conilon) de 2,2 milhões de hectares distribuídos em 15 estados. Os maiores produtores são Minas Gerais e Espírito Santo, responsáveis por aproximadamente 75% da produção brasileira (DURÀN *et al.*; 2017).

Antes de ser consumido o grão de café é submetido ao processo de torra, normalmente utilizando uma temperatura entre 200 e 240°C por 10 a 15 minutos, esse processo ocasiona alterações físicas e químicas complexas. Apesar da extensão das alterações químicas variarem com relação ao tempo e à temperatura de torra, observa-se geralmente que os lipídios presentes nos grãos do café apresentam ser muito estáveis durante o processo de torra, mantendo os seus teores médios no café torrado (BeMILLER, 2009).

O café, após 298 anos de sua entrada no Brasil, está consolidado como um dos principais produtos do agronegócio brasileiro, segundo o Ministério de agricultura, pecuária e abastecimento, em 2016. Atualmente, o Brasil ocupa a segunda posição, depois dos Estados Unidos (EUA), no número de publicações científicas referentes ao café (DURÀN *et al.*; 2017).

No Brasil, diversos esforços vêm sendo realizados através instituições voltadas à pesquisa do café visando à melhoria da produtividade, competitividade internacional e sustentabilidade do agronegócio do cafeeiro. Aspectos agrônômicos, genéticos, biotecnológicos e na composição química são os mais investigados, e fica clara a necessidade de intervenções imediatas direcionadas aos estudos dos resíduos do café e da sustentabilidade de seu processo produtivo (DURÁN *et al.*; 2017).

Durante ao longo dos anos alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos para o aproveitamento da borra de café.

VIOTTO (1991) estudou a utilização da borra de café como ração animal. CABRAL e MORIS (2010) estudaram a reutilização da borra de café na extração do óleo para a produção de combustível. FERREIRA (2011) estudou a utilização da borra de café em diversos adubos com o tratamento adequado. Obtenção de fibras para a produção de biscoito (AZEVEDO, 2007). Branco (2017) estudou o processo de extração do óleo da borra de café para uso em indústrias de produção de sabonete.

### 3.2 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

De acordo com a Revista Citricultura Atua (2011) resíduo é algo que fez parte de um processo produtivo ou não, e que eventualmente não está sendo aproveitado, mas que apresenta ainda uma utilização em potencial. Por outro lado, é algo a princípio inservível, que necessita apenas ser disposto de uma maneira atóxica, não poluente e, se possível, que não seja notado pelas atuais e futuras gerações.

A geração de resíduos e subprodutos é inerente a qualquer setor produtivo. Os setores agroindustriais e de alimentos produzem grandes quantidades de resíduos, tanto líquidos quanto sólidos. O café é o segundo maior produto negociado no mundo, apenas depois do petróleo, portanto sua indústria é responsável pela geração de grande quantidade de resíduos (BONILLA HERMOSA, 2017).

No processo industrial, a cada tonelada de café verde são gerados 480 kg de borra (FREITAS; MONTEIRO e LAGO, 2009).

A geração de resíduos e subprodutos é inerente a qualquer setor produtivo. Os setores agroindustriais e de alimentos produzem grandes quantidades de resíduos, tanto líquidos quanto sólidos. O café é o segundo maior produto negociado no mundo, apenas depois do petróleo, portanto sua indústria é responsável pela geração de grande quantidade de resíduos (DIAS et al.; 2014).

Segundo Ferreira-Leitão *et al.* (2010), o aproveitamento de resíduos agroindustriais e florestais destaca-se na produção de combustíveis renováveis, produtos químicos e de energia, uma vez que sua disponibilidade acaba por solucionar o problema do acúmulo de resíduos e evita a contaminação de solos e rios.

A secagem de produtos agrícolas é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e a estabilidade dos grãos considerando-se que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento.

### 3.2.1 Borra de café

No processo de obtenção da bebida de café é gerado um resíduo, a borra de café (FERREIRA, 2011).

A borra é o resíduo sólido gerado após a extração dos compostos solúveis do café torrado, como a que ocorre durante a preparação da bebida, e é utilizada na fabricação do café solúvel (Vega, R. C. et al., 2015). Assim, a borra torna-se um resíduo equivalente a aproximadamente 50 % do café torrado na indústria do café solúvel (Pujol, D. et al.; 2013).

Apesar da grande quantidade desse resíduo gerada anualmente, não há estratégias de disposição ou reuso consolidadas e a maior parte desse resíduo é incinerada ou descartada em lixo comum e apenas uma pequena fração é destinada à adubação e à alimentação animal (TOKIMOTO *et al.*, 2005).

A borra do café contém óleos, que podem contaminar o solo quando o resíduo é descartado no meio ambiente (ROCHA; REIS e CHAVES, 2013).

Esse resíduo possui baixo teor de nitrogênio e acidez elevada, dessa forma não é recomendado jogar-la diretamente em culturas com fertilizantes, embora a mesma seja considerada uma grande alternativa para a agricultura como fertilizantes, quando integrado com outros resíduos de origem vegetal formando um substrato ou (ROCHA; REIS e CHAVES, 2013).

A borra do café, resíduo sólido gerado no preparo da bebida ou na produção industrial de café solúvel, apresenta um grande potencial de reuso por conta da presença de substâncias com potencial de reutilização em diferentes processos. Porém, esse resíduo possui um elevado teor de umidade que o torna susceptível à degradação química e biológica, e dificulta o seu transporte e armazenamento (CARDOSO, 2013).

Recentemente vários trabalhos apresentam estudos sobre o emprego dos resíduos de café como biomassa para geração de energia, como também na produção de bioetanol e biodiesel, como alternativa para produção de uma energia mais limpa através do aproveitamento do resíduo (borra) da bebida de café (CABRAL e MORIS, 2010).

Entende-se que há a necessidade de realizar estudos sobre a secagem da borra do café, tendo em vista a necessidade de reduzir o teor de umidade e a atividade de água desse resíduo para conferir estabilidade microbiológica, diminuir seu peso e volume para facilitar o transporte e o armazenamento, além de se considerar o baixo custo e simplicidade de operação desse processo em comparação a outros métodos de preservação de alimentos (RIBAS *et al.*, 2008).

### 3.3 CINÉTICA DE SECAGEM

A água é o componente principal que controla a atividade biológica dos produtos agrícolas e, conseqüentemente, sua conservação; a secagem, por sua vez, é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e a estabilidade dos grãos considerando-se que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (Volnei *et al.*, 2012).

Existem vários métodos ou processos para a secagem de gêneros alimentícios. A avaliação da qualidade desses métodos ou processos pode ser feita em termos da eficiência energética, tempo de secagem, qualidade do produto obtido, etc.(CHEN e MUJUMDAR, 2009).

Operações de desidratação ou secagem são importantes processos nas indústrias químicas e de alimentos, como também no armazenamento de grãos e outros produtos biológicos. Durante a secagem de produtos biológicos ocorrem variações nas suas características físicas, químicas e biológicas, que, dependendo da intensidade do efeito, causam sua perda ou inutilidade para uma determinada função (alimentícia ou germinativa). Assim sendo, é importante o conhecimento dos efeitos da secagem sobre as propriedades químicas e biológicas do produto, uma vez que afetam sensivelmente os fenômenos de transferência de massa, principalmente em alimentos (CARDOSO, 2013).

O processo de secagem pode ser definido como o aquecimento e a transferência de massa simultâneos entre o produto e o ar de secagem (PUTRANTO *et al.*, 2011) representa a remoção do excesso de umidade do produto a partir da evaporação.

Prado; Alonso e Park, (2000) comenta que a evolução das transferências simultâneas de calor e de massa, no curso da operação de secagem, faz com que esta seja dividida, esquematicamente, em três períodos de secagem.

Segundo Costa (2010) o processo de secagem para alimentos divide-se em quatro períodos. Inicialmente o alimento se adapta as condições de secagem, a temperatura atinge um valor constante igual à temperatura de bulbo úmido do ar. Essa igualdade se mantém durante o segundo período de secagem, segue sendo também um período de taxa constante em que a superfície exposta do alimento está saturada, existindo um filme contínuo de água sobre o sólido, que age como se não existisse sólido, ou seja, a água livre do alimento tem facilidade de evaporar. O terceiro período de secagem corresponde ao fim do período de secagem constante, e umidade, nesse ponto é conhecida como umidade crítica. A partir desse ponto, há um aumento na resistência interna e o movimento de líquido do interior para superfície do

solido é insuficiente para compensar o líquido que está sendo evaporado. O último período de secagem corresponde ao período que tem menos água na superfície do alimento, e por isso, torna-se cada vez mais difícil à secagem, podendo haver rachaduras na superfície do alimento. Tem-se o segundo período de taxa decrescente, em que a umidade do alimento diminui até que alcance a umidade de equilíbrio. A umidade de equilíbrio é atingida quando a umidade do solido poroso, borra de café, é reduzida até que se alcance um equilíbrio entre a umidade do ar e do solido poroso.

Segundo Christensen e Kaufmann (1974) a conservação pela secagem se baseia no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico, necessitam de certa quantidade de água para suas atividades. Com a redução da água disponível, conseqüentemente serão reduzidas a atividade de água e a velocidade das reações químicas no produto, bem como o desenvolvimento de microrganismos.

A cinética de secagem a rapidez com que o alimento perde umidade é controlada pelas características da matriz do alimento e pelas variáveis: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (COSTA, 2010).

A determinação de curvas de secagem é realizada pela desidratação do material em condições pré-estabelecidas e pela determinação do teor de umidade periodicamente (VELIC *et al.*, 2004).

A taxa de secagem é definida como a quantidade de umidade removida em unidade de tempo a partir de um material seco por unidade da superfície de secagem. Ou seja, é a derivada do teor de umidade total (X) pelo tempo (t) de secagem,  $dX/dt$  (AHMED; SINHA e HUI, 2011).

A remoção da umidade é importante para a conservação da borra de café previamente ao seu uso e também para facilitar o transporte e o armazenamento e possibilitar a extração de compostos hidrofóbicos de interesse tais como os lipídios (ABDULLAH e KOC, 2012).

### 3.4 ESTADO DA ARTE

Viotto (1991) Realizou o estudo de avaliação econômica e energética de sistemas de secagem e combustão para a borra de café, combinando o uso de: prensa, secador leito fluidizado e secador transporte pneumático. A cinética de secagem realizada no secador de leito fluidizado com fluxo mássico de ar variando de 1,05 a 1,50 kg/m<sup>2</sup>s e temperatura do gás na faixa de 70,3 a 141,5 °C. A umidade do sólido esteve entre 1,20 e 2,16 b.s. Foram comparados os valores experimentais dos adimensionais Nusselt e Reynolds com os modelos

obtidos por vários autores para outros materiais. Os resultados mostraram uma tendência semelhante, porém os valores de Nusselt obtidos foram inferiores aos encontrados na literatura.

CARDODO (2013) estudou as características químicas da borra do café espresso, estabeleceu uma cinética de secagem a 4 (quatro) diferentes temperaturas (35, 45, 55 e 65°C), e avaliou o comportamento higroscópico por meio de isotermas de adsorção e dessorção de umidade nas temperaturas de 25, 35 e 45°C. Foram ajustados modelos matemáticos tanto às curvas cinéticas como às isotermas de sorção de umidade. O modelo de Midilli apresentou o melhor ajuste das curvas de secagem enquanto que o modelo de Peleg foi o que melhor descreveu as isotermas de sorção de umidade. A melhor temperatura de secagem foi 65°C, por conta do menor tempo do processo e da manutenção da qualidade do material avaliada por meio dos parâmetros de cor e compostos marrons.

STHEL *et al.* (2013) estudaram secagem e extração de pectina do albedo da casca de laranja utilizando um secador convectivo com circulação de ar forçada. Empregando três temperaturas e velocidade. Os resultados mostraram que o efeito da velocidade do ar na secagem foi consideravelmente menor em relação à temperatura. Dentre os modelos, o de Page foi o que melhor predisse o comportamento dos dados.

BARREIRO *et al.* (2016) estudaram a cinética de secagem das cascas de abacaxi, visando seu aproveitamento como enriquecedor da dieta alimentar, na forma de farinha, por exemplo. Fatias de casca de abacaxi (6 x 2 x 0,1 cm) foram, então, secadas a 70 °C por 340 min, os autores observaram que dentre os modelos propostos, o de Fick foi o que melhor representou a secagem de cascas de abacaxi, uma vez que o coeficiente de determinação foi de 0,98 e que o erro médio relativo foi o menor dentre os modelos avaliados. O coeficiente de difusão efetivo da água durante a secagem das cascas de abacaxi foi de  $3,76 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

D'HYPPOLITO FILHO, (2014) avaliou preliminarmente as curvas de secagem do resíduo da acerola (*Malpighia emarginata* DC.) em secador de bandejas. A partir dessas curvas foram obtidos dados de taxa de secagem e as constantes de velocidade, além do ajuste de modelos semiteóricos aos dados experimentais. As curvas de secagem foram obtidas, utilizando-se um secador de bandejas nas temperaturas de 60, 70 e 80°C e com velocidade do ar de secagem de 4,0 e 6,0 m/s. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de Lewis e Henderson e Pabis, resultando, para todos os casos, em um coeficiente de regressão ( $R^2$ ) superior a 0,96. Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que, para as condições operacionais utilizadas, a cinética de secagem do resíduo da acerola ocorreu nos



períodos de taxa constante e decrescente; a cinética foi influenciada tanto pela velocidade do ar de secagem quanto pela temperatura de operação.

### 3.5 APLICAÇÃO AOS MODELOS MATEMÁTICOS

Modelos matemáticos são utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas, inclusive sólidos porosos, como é o caso do resíduo borra de café.

A modelagem e simulação é uma importante ferramenta de análise disponível para projeto e operação de processos ou sistemas. Esta pode ser útil em qualquer uma das fases do ciclo de vida de um sistema da produção simulando processos como experimentos de sistemas ou fenômenos físicos, através de modelos matemáticos que representam características observadas em sistemas reais possibilitando avaliar formas de aperfeiçoar a operação (PAIVA, 2005).

A utilização de modelos matemáticos que consideram as características do sistema de transferência de massa em alimentos é uma ferramenta cada vez mais explorada pelos pesquisadores, sendo de grande utilidade para o cálculo do desenvolvimento eficiente de cada análise, tendo em vista a melhoria no processamento, redução de perdas e aumento da qualidade do produto final (DANTAS; MATA e DUARTE, 2011).

A aplicação desses modelos confiáveis permite prever o comportamento dos diversos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem, entre eles: as melhores condições, o estudo da influência da temperatura de secagem, o tempo de exposição da matéria-prima a dada temperatura (ALVES, 2014).

De acordo com Goyal *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2008), a secagem de alimentos é um fenômeno complexo, o qual requer representações para a predição do comportamento e otimização de seus parâmetros. Os modelos matemáticos têm sido empregados para estimar o tempo e representar o processo de secagem.

A aplicação dos modelos matemáticos confiáveis permite prever o comportamento dos diversos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem, o que implica na redução do custo operacional (GOMES DIONELLO *et al.*, 2009)

A aplicação dos modelos matemáticos confiáveis permite prever o comportamento dos diversos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem, o que implica na redução do custo operacional (NUNES *et al.*, 2014)

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 MATERIAL

A matéria prima utilizada no presente trabalho foi a borra de café proveniente da praça de alimentação do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, CAMPUS I.

As amostras foram coletadas no dia da realização da secagem, de acordo com o planejamento fatorial elaborado. Sendo necessário as amostras serem mantidas sob refrigeração para evitar a contaminação e deterioração do resíduo.

### 4.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE INICIAL DO PRODUTO

Inicialmente, determinou-se a umidade inicial da amostra com uma balança determinadora de umidade com infravermelho (ID200 – determinador de umidade 200g – Marte). A análise foi realizada em triplicata. A Umidade Inicial do produto em base seca foi determinada de acordo com a Equação (01).

$$U_{b.s} = \frac{m_i - m_f}{m_f} \quad (01)$$

Sendo:

$U_{b.s}$  = Umidade em base seca.

$m_i$  = massa inicial da amostra úmida.

$m_f$  = massa fina da amostra seca.

### 4.3 CINÉTICA DE SECAGEM

Os experimentos foram realizados no período de agosto de 2014 a agosto de 2015. Inicialmente, pesou-se a massa inicial do resíduo em balança analítica, utilizando bandejas em alumínio. A cinética de secagem foi realizada pesando-se a massa do resíduo em intervalos de tempos regulares. Nas primeiras três horas de secagem, pesou-se a massa do resíduo em um intervalo de tempo de cinco em cinco minutos, a partir da quarta hora de secagem, pesou-se o experimento de dez em dez minutos, a partir da sexta hora de secagem de trinta em trinta minutos, e a partir da dez horas de secagem de uma em uma hora.



O processo de secagem foi conduzido em estufa com circulação de ar. As curvas de secagem foram realizadas de acordo com um planejamento fatorial de  $2^3$  com três repetições no ponto central. Os parâmetros controlados para a obtenção do resíduo seco com diferentes níveis de umidade foram: massa, temperatura e tempo de secagem. Os valores das variáveis independentes utilizadas no planejamento fatorial proposto estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores reais e os níveis dos fatores do planejamento fatorial completo - ( $2^3$ ) com 3 pontos centrais.

Parâmetros	(-1)	(0)	(1)
Massa (g)	300	400	500
Temperatura (°C)	50	60	70
Tempo (h)	8	10	12

Ao final de cada experimento o resíduo seco foi submetido ao processo de envasamento á vácuo em sacos plásticos e armazenado em local seco e fresco para evitar a proliferação de fungos.

#### 4.3.1 Curvas de Secagem

A partir dos dados de umidade em base seca definidos pela Equação (02) e (03) em função do tempo de secagem do processo, foram construídas as curvas da cinética de secagem para cada experimento.

$$m_s = \frac{m_i}{1 - U_{ib.s}} \quad (02)$$

(03)

$$U(t) = \frac{m(t) - m_s}{m_s}$$

Sendo:

$m_i$  = massa inicial.

$m_s$  = massa seca.

$U_{ib.s}$  = umidade inicial em base seca.

$m(t)$  = massa em função do tempo.

$U(t)$  = umidade em função do tempo.

A partir dos dados da cinética de secagem foram construídas as curvas da taxa de secagem em função da umidade média.

#### 4.4 MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS A CINÉTICA DE SECAGEM DA

As curvas de secagem, em umidade adimensional em função do tempo, foram ajustadas aos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Page e Newton, os quais são expressos de acordo com as equações da Tabela 2.

O cálculo da umidade adimensional foi realizado de acordo com a seguinte Equação (04).

$$U^* = \frac{(U(t) - U_{eq})}{(U_i - U_{eq})}, \text{ umidade adimensional.} \quad (04)$$

Tabela 2 – Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem do resíduo da borra de café.

EQUAÇÕES	MODELOS
$U^* = a \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$ (05)	Henderson e Pabis
$U^* = \exp(-k_2 \cdot t^n)$ (06)	Page
$U^* = \exp(-k_3 \cdot t)$ (07)	Newton

Sendo:

a, k1, k2, k3 e n, são constantes dos respectivos modelos

t tempo (min).

Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos empíricos foram utilizados como critérios o coeficiente de determinação, o teste de AKAIKE e o erro padrão.

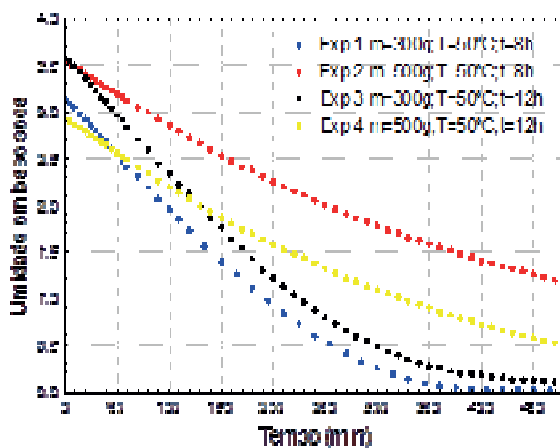
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ESTUDO DAS CURVAS DA CINÉTICA DE SECAGEM.

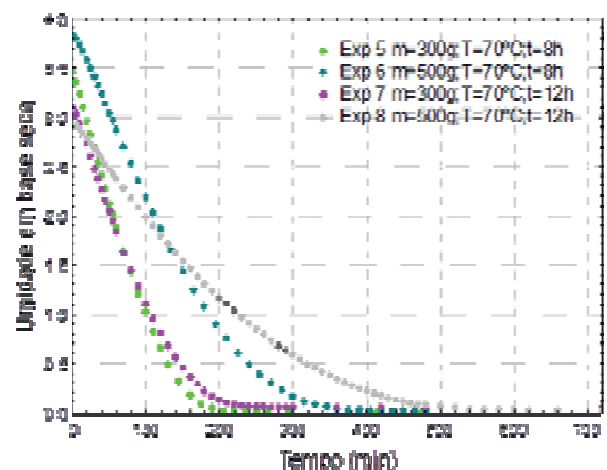
As amostras apresentaram um teor de umidade inicial ( $U_i$ ) entre 2,77-3,84 em base seca. A partir dos dados de umidade em base seca definidos pela equação (2) e (3) em função de tempo do processo, foram construídas as curvas de secagem para cada experimento. Pode-se observar nas Figuras 1 e 2, respectivamente, que o nível de temperatura exerce grande influência na secagem do produto. Portanto, a secagem com temperatura constante a  $70^\circ\text{C}$ , faz com que o produto perca umidade bem mais rápido que a secagem realizada a  $50^\circ\text{C}$ , tendendo a um teor de umidade de equilíbrio reduzido.

As curvas apresentaram comportamento similar, isto é, fica evidente que o aumento da perda de umidade, mais rápido, nos ensaios realizados com a massa do resíduo igual a 300g, se comparado com os ensaios realizados com a massa do resíduo igual a 500g. Nas Figuras 1 e 2 são apresentados esses comportamentos.

**FIGURA 1.** Umidade em base seca em função do tempo na temperatura a  $50^\circ\text{C}$  para os experimentos de 1, 2, 3 e 4.



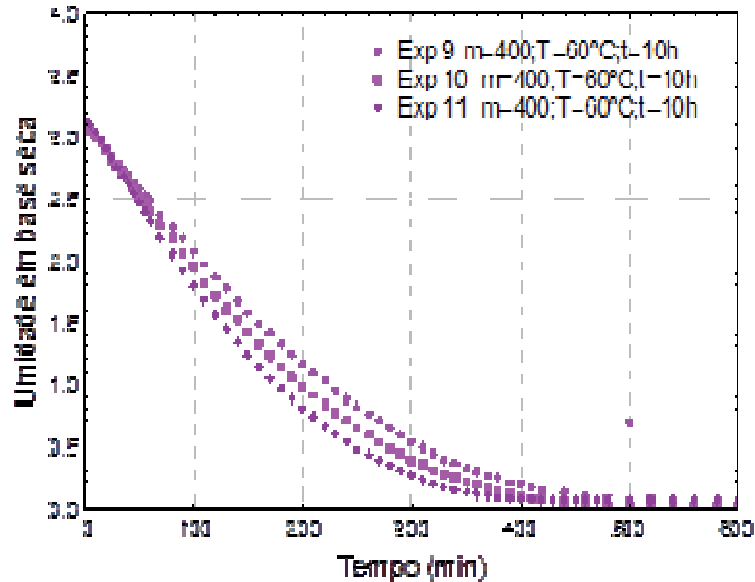
**FIGURA 2.** Umidade em base seca em função do tempo na temperatura a  $70^\circ\text{C}$  para os experimentos de 5, 6, 7, e 8.



De acordo com o previsto no planejamento experimental, a Figura 03 representa as curvas de secagem do ponto central,  $60^\circ\text{C}$ , com suas respectivas triplicatas. Pôde-se observar comportamento semelhante, não havendo total reprodutibilidade devido ao fato de que as amostras do mesmo lote não foram secas no mesmo dia, ficando armazenadas em geladeira,

modificando assim a umidade inicial das mesmas. A umidade de equilíbrio foi atingida a partir das nove horas de secagem.

**FIGURA 3.** Umidade em base seca em função do tempo na temperatura a 60°C para os experimentos de 9, 10, e 11.

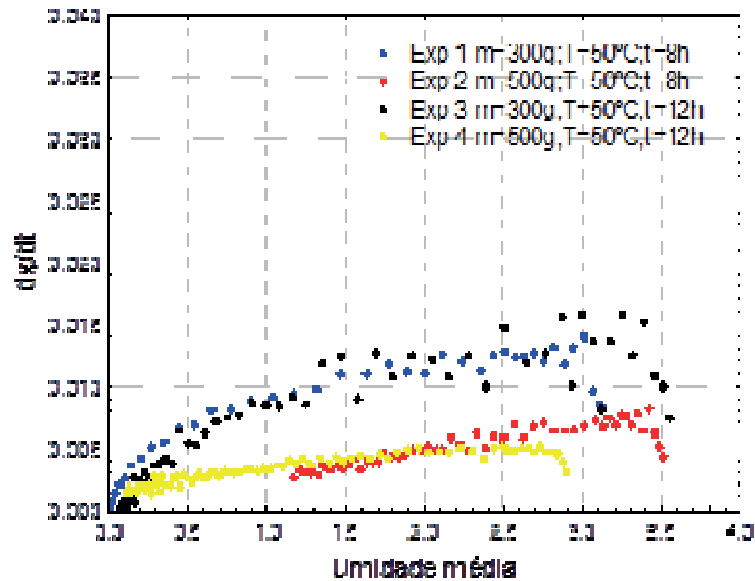


## 5.2 ESTUDO DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE MÉDIA

Analisando-se os dados da curva da taxa de secagem em função da umidade média (Figura 04), para a secagem da borra de café a 50°C. Observou-se que as curvas da taxa de secagem dos experimentos 2 e 4 apresentaram a existência de dois períodos de secagem, o período de indução e o de taxa constante. O período de taxa decrescente foi interrompido, pelo fato dos experimentos conterem uma variável de temperatura de 50°C, e o tempo utilizado no processo de secagem não ser suficiente para atingir a umidade de equilíbrio, entretanto o experimento 4, temperatura de secagem de 12 horas, chegou próximo de atingir a umidade de equilíbrio.

Este comportamento revela que o tempo e a temperatura do ar de secagem exercem influência sob a cinética de secagem de alimentos, como o observado por Nunez e Castro (2014) na descrição cinética de secagem da polpa de jabuticaba. Nas curvas de secagem dos experimentos 1 e 3 verificou-se a presença significativa dos quatro períodos de secagem, o período de indução (também de taxa constante), o de taxa crescente, e os dois de taxa decrescente. Pois a curva apresentou perda de umidade até o final do processo de secagem, até atingir a umidade de equilíbrio, que é mais evidente no experimento 3. Dessa forma pode-se observar o quanto as variáveis utilizadas no planejamento são de extrema importância.

**FIGURA 4.** Taxa em função da umidade média para a temperatura a 50°C.

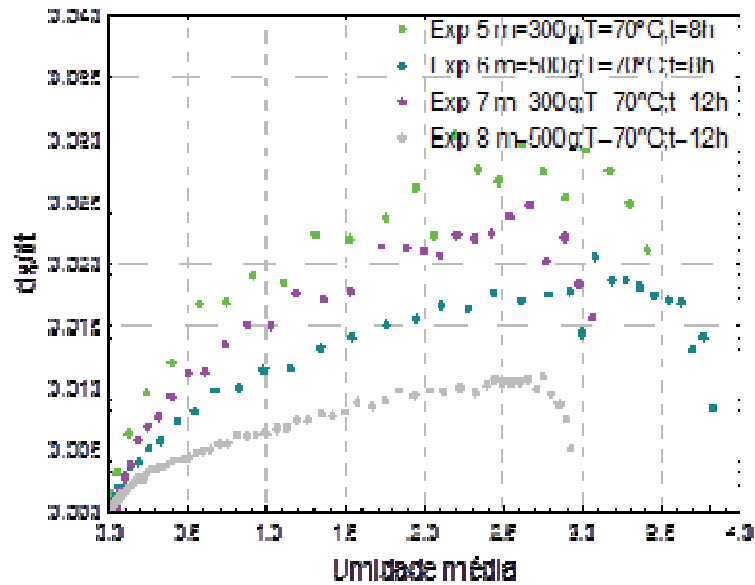


É importante evidenciar que no período de taxa decrescente há um aumento na resistência interna e o movimento do líquido do interior para a superfície do sólido é insuficiente para compensar o líquido que está sendo evaporado. (COSTA, Sônia Maria, 2010). Exatamente o que foi observado nos experimentos 2 e 4, em que não atingiram a umidade de equilíbrio.

O presente estudo da cinética de secagem mostrou que as curvas de secagem dos experimentos 5 e 7 na Figura 5, sobre as mesmas condições de massa e temperatura, apresentaram praticamente a mesma curva de secagem. Verifica-se que a curva de secagem está bem próxima uma da outra, quase sobreposta. Pode-se observar a presença bastante significativa dos quatro períodos de secagem. Com o término do período de taxa constante, o período de taxa decrescente é alcançado, a partir das primeiras cinco horas de secagem. Este é adquirido com a migração interna de água para a superfície que não consegue mais suprir a taxa de evaporação da água livre da superfície. A umidade de equilíbrio é atingida a partir das oito horas de secagem.

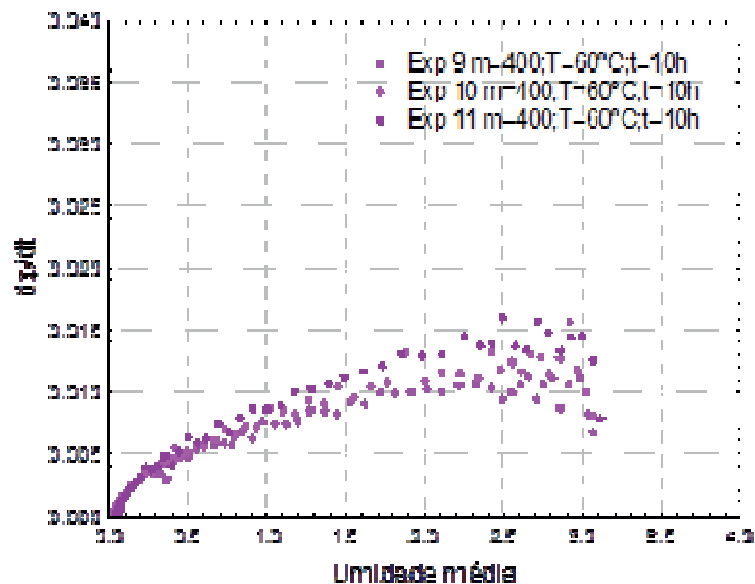
Na curva de secagem do Experimento 8 o período de taxa decrescente fica evidente a partir das dez horas de secagem, onde começa a atingir a umidade de equilíbrio.

**FIGURA 5.** Taxa em função da umidade média para a temperatura a  $70^{\circ}\text{C}$



A Figura 6 observa-se um comportamento similar descrito anteriormente em relação a taxa de secagem, contudo apresentando a reprodutibilidade dos dados experimentais.

**FIGURA 6.** Taxa em função da umidade média para a temperatura a  $60^{\circ}\text{C}$ .



Mediante os resultados da Figura 4, 5, e 6 verificou-se que a variação da velocidade de secagem sofre influência tanto da temperatura de secagem, como também da massa do resíduo inicial utilizada. Pode-se observar que os ensaios com maior temperatura, mostraram-se capaz de atingir a umidade de equilíbrio mais rápido.

Pode-se observar que a representação gráfica é de comportamento similar para as figuras 4,5 e 6, isto é, fica evidente o aumento da velocidade de secagem nos ensaios realizados com a massa do resíduo igual a 300g, comparando-se com os ensaios realizados com a massa do resíduo igual a 500g. A partir dessa análise podemos concordar com Gomes de Gouveia et al. (2003) quando ele diz que, a taxa de secagem pode ser acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e/ou com o aumento do fluxo de ar que passa pelo produto por unidade de tempo.

Pode-se destacar no gráfico da taxa de secagem em função da umidade média, que a velocidade de secagem é maior no início do processo, ou seja, no período de secagem de taxa constante, onde ocorre uma maior perda de umidade. Em seguida observa-se o período de taxa decrescente em que a velocidade de secagem é reduzida, deste momento em diante o processo de secagem é realizado até que a umidade de equilíbrio seja atingida.

### 5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA CINÉTICA DE SECAGEM

Devido à importância de se entender melhor a migração de umidade em sólidos porosos, as curvas experimentais da cinética de secagem foram ajustadas por modelos matemáticos para descrever o processo de secagem. O critério para a avaliação dos modelos empíricos de secagem foi o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ).

Os dados experimentais de secagem da borra de café foram ajustados aos modelos de secagem de Henderson e Pabis, Page Newton e Newton, utilizando-se a análise de regressão não linear, empregando-se o programa computacional *STATISTICS*. Foram calculados os coeficientes de Determinação ( $R^2$ ) para cada experimento, nas temperaturas 50, 60 e 70 °C.

A partir da escolha do melhor modelo, dentre os aplicados, apresentados nas Tabelas 4, 5, e 6, pode-se construir os gráficos da curva de secagem da umidade adimensional em função do tempo.

Tabela 4 - Parâmetros obtidos pela aplicação do modelo matemático de Henderson &amp; Pabis às curvas de secagem.

<b>Experimento</b>	<b>A</b>	<b>K</b>	<b>R<sup>2</sup>%</b>
1	1.093358	0.006819	98,930
2	1.032231	0.003002	99,872
3	1.101719	0.006433	99,048
4	1.062057	0.003837	99,519
5	1.097981	0.013325	99,093
6	1.105951	0.007754	99,108
7	1.107593	0.012346	99,133
8	1.088033	0.005536	99,297
9	1.084255	0.005810	98,986
10	1.091123	0.006550	99,259
11	1.093450	0.007596	99,361

Tabela 5 - Parâmetros obtidos pela aplicação do modelo matemático de Newton as curvas de secagem.

<b>Experimento</b>	<b>K</b>	<b>R<sup>2</sup>%</b>
1	0.006145	98,373
2	0.002864	99,707
3	0.005819	98,486
4	0.003598	99,252
5	0.011952	98,601
6	0.006900	98,472
7	0.011062	98,593
8	0.005063	98,843
9	0.005322	98,543
10	0.005972	98,794
11	0.006924	98,938



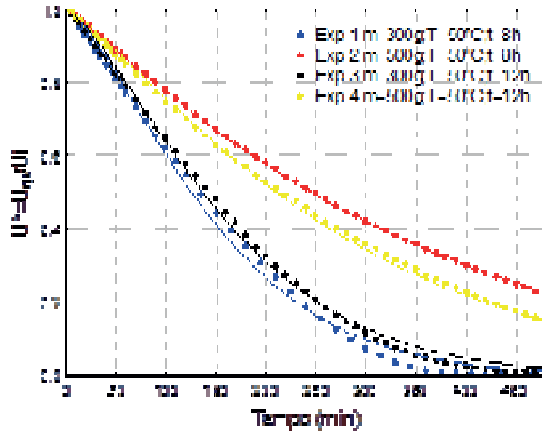
Tabela 6 - Parâmetros obtidos pela aplicação do modelo matemático de Page às curvas de secagem.

<b>Experimentos</b>	<b>K</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup>%</b>	<b>AKAIKE</b>	<b>ERRO PADRÃO</b>
1	0.000818	1.3950	99,826	-325,977	0,022
2	0.001427	1.1243	99,993	-152,198	0,246
3	0.000757	1.3863	99,893	-410,254	0,032
4	0.000993	1.2245	99,911	-280,578	0,167
5	0.001914	1.4167	99,896	-277,323	0,038
6	0.000806	1.4299	99,932	-369,464	0,014
7	0.001646	1.4170	99,922	-134,291	0,189
8	0.000832	1.3341	99,915	-335,754	0,071
9	0.00869	1.3395	99,639	-322,242	0,061
10	0.001015	1.3385	99,916	-433,636	0,023
11	0.001278	1.3299	99,927	-429,513	0,029

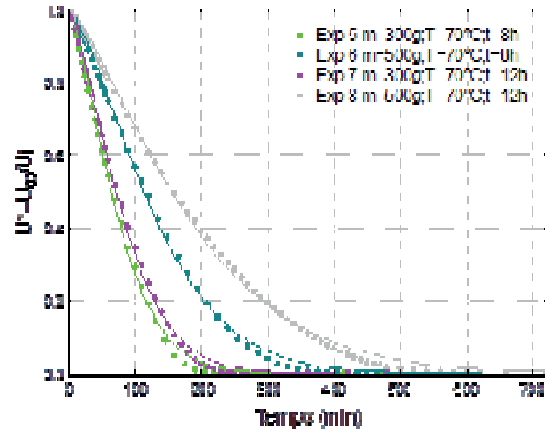
Verifica-se nas Tabelas 4, 5 e 6 supracitadas que todos os modelos analisados apresentaram um Coeficiente de Determinação maior que 98%. O modelo que melhor descreveu o processo de secagem foi o modelo de Page, cujo os valores do Coeficiente de Determinação para todos os ensaios realizados foram sempre superiores a 99%. Menezes et. al. (2013) analisaram a secagem convectiva em leito fixo do bagaço de maracujá amarelo onde foi observado que o modelo de Page apresentou melhores ajustes aos dados experimentais

Porém, o  $R^2$  é apenas um indicativo para predizer a qualidade do ajuste. Neste caso, utilizaram-se dois critérios estatísticos para comprovar a qualidade do ajuste do modelo de Page. O primeiro foi o teste de AKAIKE que apresentou valores mais negativos e, o segundo o Erro Padrão (SE) com valores baixos em relação aos outros modelos. Estes resultados comprovam a boa concordância do modelo aos dados experimentais.

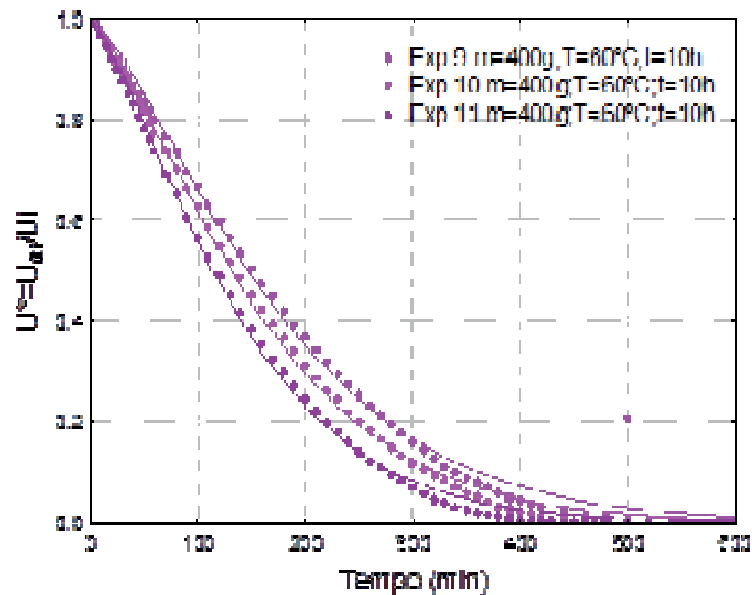
**FIGURA 7.** Curva de secagem da umidade adimensional em função do tempo para a temperatura a 50°C, aplicado ao modelo matemático de Page.



**FIGURA 8.** Curva de secagem da umidade adimensional em função do tempo para a temperatura a 70°C, aplicado ao modelo matemático de Page.



**FIGURA 9.** Curva de secagem da umidade adimensional em função do tempo para a temperatura a 60°C, aplicado ao modelo matemático de Page.



Nas Figuras 7, 8 e 9 o comportamento da secagem da borra de café sendo seca nas temperaturas a 50, 60 e 70°C, e ajustadas ao modelo matemático de Page, observa-se ao teor de umidade adimensional em função do tempo. Verifica-se que o teor de umidade decresce lentamente com o tempo, para o caso de secagem a baixa temperatura. Pode-se observar nos gráficos, que o nível de temperatura exerce grande influência na secagem do produto. Portanto, a secagem com temperatura constante a 70°C, leva o produto a perder umidade bem

mais rápido que a secagem realizada a 50°C, tendendo a um teor de umidade de equilíbrio em um tempo bem menor.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o estudo realizado verificou-se que a variação da velocidade de secagem sofre influência tanto da temperatura de secagem, como da massa do resíduo inicial utilizada. Pode-se observar que os ensaios com maior temperatura, mostraram-se capaz de atingir a umidade de equilíbrio mais rápido.

O estudo da secagem apresentado no presente trabalho é importante como processo de conservação, contudo o principal motivo era obter produtos secos com teores de umidades diferentes para posterior estudo do efeito desta variável sobre a extração de lipídeos da borra de café. Como esperado a secagem ocorreu mais rapidamente em temperaturas maiores e menores quantidades de massa inicial da borra de café.

Observou-se que conforme os dados experimentais da secagem, do resíduo borra de café, ajustaram-se aos modelos matemáticos estudados, podendo ser aplicados na predição da secagem da borra de café, sendo que o melhor resultado encontrado foi para o modelo matemático de Page. Foram encontrados valores mais negativos do teste de AKAIKE. Como também, observaram-se valores mais baixos do Erro Padrão (SE) quando comparados aos resultados utilizando outros modelos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, M.; KOC, A. B. Oil removal from waste coffee grounds using two-phase solvent extraction enhanced with ultrasonication. *Renewable energy*, v. 50, p. 965-970, 2013.

AHMED, J.; SINHA, N.; HUI, Y. Drying of vegetables: principles and dryer design. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*, p. 279-298, 2011.

ALVES, S. B. Estudo teórico e experimental do processo de secagem do abacate (*Persea americana* Mill). 2014.

AZEVEDO, A. S. B. Caracterização e aplicação de fibra de borra de café modificada por tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino. 2007. 41 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Ciência de Alimentos. Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

BARREIRO, N.; CHAVES, M. A.; GARCIA, C. C. CINÉTICA DE SECAGEM DE CASCAS DE ABACAXI. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Foz de Iguaçu, 2016.

BELITZ, H.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. Food Chemistry 4th revised and extended edition. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Cooking Properties of Raw and Baked patties from Goat Meat. *Journal Food Engineering*, v. 53, p. 377-385, 2009.

BEMILLER, J. N. Carbohydrate analysis. In: (Ed.). *Food analysis*: Springer, 2010. p.147-177.

BONILLA HERMOSA, V. A. Aproveitamento dos resíduos do processamento semi-seco do café para a produção de compostos de valor agregado. 2017.

BRANCO, N. D. M. Avaliação econômica da implementação de um anexo, para extração do óleo da borra de café, em indústrias de produção de sabonete. 2017. Universidade Federal do Rio Grande do Norte

BRAVO, J.; MONENTE, C.; JUÁNIZ, I.; DE PEÑA, M. P.; CID, C. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Research International*, v. 50, n. 2, p. 610-616, 2013.

CABRAL, M. S.; MORIS, V. A. D. S. Reaproveitamento da borra de café como medida de minimização da geração de resíduos. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, Brasil, v. 12, 2010.

CAMPOS-VEGA, R.; LOARCA-PINA, G.; VERGARA-CASTAÑEDA, H. A.; OOMAH, B. D. Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, v. 45, n. 1, p. 24-36, 2015.

CARDOSO, B. T.; SOARES, C. M. F. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ESTUDO DA SECAGEM DA BORRA DE CAFÉ ESPRESSO. 2013.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010.

CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S. Drying technologies in food processing. John Wiley & Sons, 2009.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. Microflora. CHRISTENSEN, CM Storage of cereal grain and their products. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, p. 158-192, 1974.

COSTA, Sônia Maria. Princípio de secagem de alimentos, platina DF, 2010.

D'HYPPOLITO FILHO, J. C. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO MECÂNICO SOB ALTAS TEMPERATURAS DE PASTAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM MICROFIBRAS DE VOLASTONITA PARA CIMENTAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS. 2014. Universidade Federal do Rio de Janeiro

DANTAS, L. A.; MATA, M.; DUARTE, M. E. M. Programa computacional dinâmico para simulação de secagem de grãos e sementes de milho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindust*, v. 13, n. 3, p. 309-318, 2011.

DE GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. D. A. C.; DA SILVA FARIAS, E.; DA SILVA, M. M.; CHAVES, M. D. C. V.; REIS, L. S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. 2003.

DE MENEZES, M. L.; STRÖHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; DE BARROS, S. T. D. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. *Engevista*, v. 15, n. 2, p. 176-186, 2013.

DIAS, R. D.; VALENCIA, R. N.; ZAMBRANO, A. D.; NÚÑEZ, L. C. F. Management and Utilization of Wastes from Coffee Processing. Which coffee is processed are given by Brando and Brando. 2014.

DURÁN, C. A.; TSUKUI, A.; SANTOS, F.; MARTINEZ, S.; BIZZO, H.; REZENDE, C. Café: Aspectos Gerais e seu Aproveitamento para além da Bebida. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>>. Acesso em: maio de 2017.

FERREIRA-LEITAO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BON, E. P. Biomass residues in Brazil: availability and potential uses. *Waste and Biomass Valorization*, v. 1, n. 1, p. 65-76, 2010.

FERREIRA, A. D. Influência da borra de café no crescimento e nas propriedades químicas e biológicas de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.). 2011. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária

FREITAS, S. P.; MONTEIRO, P. L.; LAGO, R. C. A. Extração do óleo da borra de café solúvel com etanol comercial 2009.

GEORGE, S. E.; RAMALAKSHMI, K.; MOHAN RAO, L. J. A perception on health benefits of coffee. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 48, n. 5, p. 464-486, 2008.

GOMES DIONELLO, R.; AMORIM BERBERT, P.; AMORIM BERBERT DE MOLINA, M.; DE CAMPOS PEREIRA, R.; PIO VIANA, A.; DE OLIVEIRA CARLESSO, V. Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 29, n. 1, 2009.

IBARZ RIBAS, A.; RIBAS, A. I. Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria. 2000.

MARTINEZ-SAEZ, N.; GARCÍA, A. T.; PÉREZ, I. D.; REBOLLO-HERNANZ, M.; MESÍAS, M.; MORALES, F. J.; MARTÍN-CABREJAS, M. A.; DEL CASTILLO, M. D. Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food chemistry*, v. 216, p. 114-122, 2017.

MENEGHETTI, V. L.; AOSANI, E.; DA ROCHA, J. C.; DE OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C.; POHNDORF, R. S. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, v. 16, n. 10, 2012.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and recycling*, v. 66, p. 45-58, 2012.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS. 2017. Disponível em: <  
<https://www.noticiasagricolas.com.br/tags/ibge/>>. Acesso em: maio de 2017.

NUNES, J. S.; DE CASTRO, D. S.; DOS SANTOS MOREIRA, I.; DE SOUSA, F. C.; DA SILVA, W. P. Descrição cinética de secagem da polpa de jabuticaba usando modelos empíricos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 9, n. 1, p. 20-25, 2014.

PAIVA, A. F. D. O. Geração automática de modelos de simulação de uma linha de produção na indústria têxtil. 2005. 239p. Dissertação de mestrado. Engenharia industrial, Universidade de Minho. Guimarães.

PRADO, M.; ALONSO, L.; PARK, K. Shrinkage of dates (*Phoenix Dactylifera* L.) during drying. *Drying Technology*, v. 18, n. 1-2, p. 295-310, 2000.

PUJOL, D.; LIU, C.; GOMINHO, J.; OLIVELLA, M.; FIOL, N.; VILLAESCUSA, I.; PEREIRA, H. The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Products*, v. 50, p. 423-429, 2013.

PUTRANTO, A.; CHEN, X. D.; XIAO, Z.; WEBLEY, P. A. Mathematical modeling of intermittent and convective drying of rice and coffee using the reaction engineering approach (REA). *Journal of food engineering*, v. 105, n. 4, p. 638-646, 2011.

REVISTA CITRICULTURA ATUAL. 2011. Disponível em: <  
[http://www.gconci.com.br/site/default.aspx?pagina=login\\_revista](http://www.gconci.com.br/site/default.aspx?pagina=login_revista)>. Acesso em: julho de 2017.

REVISTA GLOBO RURAL. 2017. Disponível em: <  
<http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/Cafe/noticia/2017/03/>>. Acesso em: maio de 2017.

ROCHA, C. C. D.; REIS, C.; CHAVES, A. R. D. M. Caracterização qualitativa de ácidos graxos como componentes dos óleos de grão de café verde, café torrado e borra de café. 2013.

SANTOS, D. M. D. Desenvolvimento de método para a obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de pó de café em escala laboratorial. 2010. Universidade de São Paulo



SAITER, O.; DE SOUZA, N. D.; GONÇALVES DE OLIVEIRA, E. A.; DE FELICE ELIAS, T.; TAVARES, R. Estudo comparativo da carbonização de resíduos agrícolas e florestais visando à substituição da lenha no processo de secagem de grãos de café. *Revista Ceres*, v. 58, n. 6, 2011.

SILVA, D. F.; CAMARGO, N. H.; DALMÔNICO, G. M.; CORRÊA, P.; SCHNEIDER, M. S.; GEMELLI, E. Synthesis and Characterization of Calcium Phosphate from Fossilized Calcareous Shells for Biomedical Applications. *Materials Science Forum*, 2014, Trans Tech Publ. p.449-453.

STHEL, M.; MUNIZ, E.; PROVETI, J.; PORTO, P. SECAGEM E EXTRAÇÃO DE PECTINA DO ALBEDO DA CASCA DE LARANJA. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 1, p. 445-449, 2014.

TOKIMOTO, T.; KAWASAKI, N.; NAKAMURA, T.; AKUTAGAWA, J.; TANADA, S. Removal of lead ions in drinking water by coffee grounds as vegetable biomass. *Journal of Colloid and interface Science*, v. 281, n. 1, p. 56-61, 2005.

VEGA, R. C.; PINÃ, G. L.; CASTEÑADA, H. A. V.; OOMAH, B. D. Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology* 2015, 45, 24.

VELIĆ, D.; PLANINIĆ, M.; TOMAS, S.; BILIĆ, M. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. *Journal of Food Engineering*, v. 64, n. 1, p. 97-102, 2004.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.

VIOTTO, L. A. Projeto e avaliação econômica de sistemas de secagem de borra de café. 1991.

VOLNEI, L. M.; ELVIO, A.; JEFERSON, C.; MAÚRCIO, O.; MOACIR C. E.; RICARDO S. P. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.16, n.10, p.1115–1120, 2012.