

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM DE FOLHAS DE PITANGUEIRA
(*Eugenia uniflora L.*) EM SECADOR DE MICRO-ONDAS

Elise Yuriko Kawabata

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento
de Engenharia Química da Universidade Federal de
São Carlos.

Orientadora: **Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Ferreira**

São Carlos – SP
2020

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 15 de dezembro de 2020 perante a seguinte banca examinadora:

Orientador: Maria do Carmo Ferreira, DEQ/UFSCar

Convidado: Nicholas Islongo Canabarro, DDPP/FEQ/Unicamp

Professor da Disciplina: Rodrigo Béttega, DEQ/UFSCar

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e minha avó pelo apoio, incentivo, carinho e também pela compreensão durante os momentos difíceis. Mesmo longe sempre se fizeram presentes.

Ao meu namorado, Jorge, por todo amor, carinho e apoio ao longo desses anos.

Aos amigos e parentes, que mesmo distantes, sempre estiveram presentes ajudando de alguma forma.

Aos amigos que fiz em São Carlos, pelo companheirismo e por tornarem esse período mais leve e prazeroso.

À minha orientadora Maria do Carmo Ferreira, pela orientação, ensinamentos e principalmente paciência. Ao Nicholas Islongo Canabarro por toda ajuda com a coleta de folhas, orientações, e ajuda com o secador micro-ondas.

RESUMO

Estudos sobre a composição química das folhas de pitangueira, *Eugenia uniflora L.*, sugerem que essa espécie possui grande importância econômica e medicinal, visto que a partir delas pode-se produzir diferentes extratos, que possuem atividade antibacteriana, antifúngica e antioxidante. Uma vez que a água é responsável pelo aumento de atividades metabólicas e mudanças químicas e físicas no produto, o processo de secagem é comumente utilizado para assegurar a qualidade das folhas após a colheita. Objetivou-se, com o presente estudo, realizar a secagem de folhas de *Eugenia uniflora L.* em um secador de micro-ondas e avaliar fisicamente, de forma comparativa, as cinéticas e taxas de secagem em diferentes potências nominais (120, 240 e 360W) e em diferentes condições (com e sem vácuo). No interior do micro-ondas foi utilizado um recipiente (câmara de vácuo) conectado a uma bomba de vácuo para os processos de secagem a vácuo. Os ensaios foram feitos em duplicatas e triplicatas. Foram analisadas curvas de umidade em função do tempo e de taxas de secagem em função da umidade, e ajustadas equações empíricas (Page, Henderson e Pabis e Midilli e Kucuk) às curvas cinéticas de secagem. O aumento de potência e a utilização de vácuo no processo de secagem via micro-ondas ocasionaram a diminuição do tempo de secagem. Para a secagem sem vácuo, não houve redução significativa no tempo de secagem para o aumento de potência entre 240 e 360 W. Predominantemente, as curvas de secagem apresentaram apenas o período de secagem à taxa decrescente, e a equação de Page foi a que melhor ajustou os dados experimentais para a descrição da cinética de secagem da folha de pitangueira.

ABSTRACT

Studies on the chemical composition of the pitanga tree leaves, *Eugenia uniflora L.*, suggest this species has great economical and medical relevance, since different extracts, which have antibacterial, antifungal and antioxidant activity, can be produced from them. Since water is responsible for the increase of metabolic activities and chemical and physical changes in the product, the drying process is commonly used to ensure the quality of the leaves after harvest. The present study aims to dry *Eugenia uniflora L.* leaves in a microwave dryer and evaluate physically, in a comparative way, the kinetic and drying rates in different nominal powers (120, 240 and 360W) and in different conditions (with and without vacuum). Inside the microwave, a container (vacuum chamber) connected to a vacuum pump was used for the vacuum drying processes. Tests were made in duplicates and triplicate. Moisture curves were analyzed as a function of time and drying rates, and empirical equations (Page, Henderson and Pabis and Midilli and Kucuk) were fitted to the kinetic drying curves. The increase of power and the use of vacuum in the microwave drying process caused the decrease of drying time. For drying without vacuum, there was no significant reduction in drying time for the increase of potency between 240 and 360 W. Predominantly, the drying curves presented only the drying period at decreasing rate, and the Page equation was the one that best fitted the experimental data for the description of the drying kinetics of the pitanga tree leaf.

SUMÁRIO

Banca Examinadora.....	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas.....	vii
Nomenclatura.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Pitangueira (<i>Eugenia uniflora</i> L.).....	3
2.2. Secagem.....	4
2.3. Curvas de secagem.....	5
2.4. Secagem por micro-ondas.....	8
2.5. Curvas de secagem por micro-ondas.....	10
2.6. Descrição da cinética de secagem usando equações empíricas.....	11
2.7. Secagem de folhas.....	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1. Materiais.....	13
3.2. Equipamentos.....	13
3.3. Procedimentos experimentais e de cálculo.....	14
3.3.1. Ensaios de secagem com aplicação de micro-ondas.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
4.1. Ensaios de secagem com aplicação de micro-ondas.....	16
4.1.1. Verificação da reprodutibilidade dos ensaios.....	16
4.1.2. Curvas de cinética de secagem em micro-ondas.....	18
4.1.3. Ajuste das equações.....	24
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Folhas e fruto de <i>Eugenia uniflora L.</i>	3
Figura 2.2.	Curva típica de secagem	6
Figura 2.3.	Curva da taxa de secagem	7
Figura 3.1.	Balança semi-analítica Gehaka, modelo BG440	13
Figura 3.2.	Micro-ondas doméstico White-Whestinghouse, modelo EM 3500B	14
Figura 4.1.	Curvas de umidade adimensional em função do tempo para análise de reprodutibilidade, potência de 36 W/g sem vácuo	17
Figura 4.2.	Curvas de umidade adimensional em função do tempo para análise de reprodutibilidade, potência de 12 W/g sem vácuo	17
Figura 4.3.	Curvas de cinética de secagem das folhas de pitangueira em diferentes potências com vácuo	18
Figura 4.4.	Curvas de cinética de secagem das folhas de pitangueira em diferentes potências sem vácuo	19
Figura 4.5.	Taxa de secagem em função da umidade adimensional para a secagem das folhas de pitangueira em diferentes potências sem vácuo	21
Figura 4.6.	Taxa de secagem em função da umidade adimensional para a secagem das folhas de pitangueira em diferentes potências com vácuo	21
Figura 4.7.	Curvas cinética de secagem das folhas de pitangueira na potência de 12W/g com e sem vácuo	22
Figura 4.8.	Curvas cinética de secagem das folhas de pitangueira na potência de 24W/g com e sem vácuo	23
Figura 4.9.	Curvas cinética de secagem das folhas de pitangueira na potência de 36W/g com e sem vácuo	24
Figura 4.10.	Curvas de cinética de secagem de folhas de pitangueira a uma potência de 12W/g com utilização de vácuo obtidas por ajuste aos	26
Figura 4.11.	Curvas de cinética de secagem de folhas de pitangueira a uma potência de 24W/g com utilização de vácuo obtidas por ajuste aos modelos	26
Figura 4.12.	Curvas de cinética de secagem de folhas de pitangueira a uma potência de 36W/g com utilização de vácuo obtidas por ajuste aos modelos	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.	Equações empíricas de cinética de secagem	11
Tabela 4.1.	Parâmetros de ajuste das Equações 2.8, 2.9 e 2.10 para a cinética de secagem das folhas de pitangueira, bem como os respectivos valores de R^2 e SQR	25

NOMENCLATURA

m_0	Massa inicial da folha	[M]
m_{ag}	Massa de água	[M]
m_e	Massa final da folha em equilíbrio dinâmico com o ar de secagem	[M]
MR	Umidade adimensional (em base seca)	[-]
m_{ss}	Massa de sólido seco	[M]
m_t	Massa da folha em um tempo t durante a secagem	[M]
N	Taxa de secagem	[MT ⁻¹]
R ²	Coefficiente de determinação	[-]
SQR	Soma dos quadrados dos resíduos	[-]
t	Tempo	[T]
W	Taxa de secagem por unidade de área	[MT ⁻¹ L ⁻²]
X	Umidade em base seca	[-]
X_{bu}	Umidade em base úmida	[-]
X_{cr}	Umidade crítica	[-]
X_{eq}	Umidade de equilíbrio	[-]

1. INTRODUÇÃO

A *Eugenia uniflora L.*, popularmente conhecida como pitangueira, é uma espécie arbórea, nativa brasileira, mais especificamente do bioma Mata Atlântica (ALMEIDA et al., 2012), tem sido explorada pelas indústrias cosmética, farmacêutica e medicinal. Devido a suas propriedades fitoterápicas, as folhas de pitangueira já eram usadas pelos índios guaranis desde o século XV (ALONSO, 1998).

Os extratos das folhas de pitangueira possuem atividades farmacológicas como antidiarreica, diurética, anti-inflamatória e antifúngica. Essas propriedades foram comprovadas por meio da realização de testes *in vitro* e *in vivo* (ALMEIDA et al., 2012; SIMÕES, 2004). Outra característica importante das folhas de *E uniflora L.* é que o extrato hidroalcolólico demonstrou atividade antioxidante, e além disso, apresentou atividade antimicrobiana sobre o *Staphylococcus aureus* (AURICCHIO e BACCHI., 2003).

O uso do óleo essencial proveniente das folhas de pitangueira vem ganhando espaço na indústria de cosméticos, refletindo no aumento da utilização. Além do aroma agradável e característico, apresenta propriedades antioxidantes e adstringentes, o que as torna interessantes para a fabricação de produtos corporais (MALAMAN et al., 2011; GALUCCI et al., 2010).

Para assegurar uma ação mais eficaz dos princípios ativos das folhas aromáticas e medicinais, geralmente, é sugerido que as folhas sejam consumidas *in natura*. Contudo, nem sempre essa forma de consumo é viável, seja por questões logísticas, sazonais ou climáticas. Imediatamente após a colheita as folhas apresentam alta umidade, o que torna o material suscetível ao ataque de microrganismos e sofre degradação bioquímica por meio da ação enzimática. Como forma de preservar o material, reduzindo a umidade das folhas e aumentando o tempo de prateleira, além de facilitar o transporte por reduzir o volume final a ser transportador, a secagem surge como uma alternativa de processamento. (MELO et al., 2004).

Considerando a importância de pesquisas relacionadas à secagem dessa espécie, é interessante avaliar a sua secagem em micro-ondas, pois essa técnica possui características interessantes, que valem a pena ser estudadas e comparadas com a secagem convectiva, como por exemplo: aquecimento uniforme do material, eficiência na conversão da energia, uma maior velocidade do processo, possibilitando menor tempo de secagem (MUJUMDAR e MENON, 1995).

Portanto, objetivou-se com o presente estudo realizar a secagem de folhas de *Eugenia uniflora* L. em micro-ondas e avaliar os efeitos das diferentes condições analisadas na redução de umidade e nas taxas de secagem e as equações que melhor se ajustam aos dados experimentais para descrever as taxas de secagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pitangueira (*Eugenia uniflora* L.)

A espécie *Eugenia uniflora* L., popularmente conhecida como pitangueira, pertence à ordem *Myrtales* e família *Myrtaceae* (LORENZI, 1998). A família *Myrtaceae* é composta por mais de 100 gêneros e 3600 espécies de arbustos e árvores verdes, podendo ser encontradas na Austrália, no Leste Asiático e nas Américas (AURICCHIO E BACCHI, 2003).

A pitangueira pode apresentar-se como um arbusto denso de 2 a 4 m de altura, ou mais raramente como uma árvore de 6 a 9 m. As variações climáticas determinam as épocas de florescimento e frutificação, que pode ocorrer em torno de duas ou mais vezes durante o ano. Os frutos do tipo drupa, globosos e sulcados, são brilhantes e podem apresentar-se nas cores vermelha, amarela ou preta, com polpa carnosa e agridoce, contendo de 1 a 2 sementes. Em geral, são consumidos *in natura*, possuem sabor ácido e aroma intenso e característico, podendo ser utilizados também na fabricação de sucos, licores, sorvetes e geleias. As flores apresentam coloração branca, solitárias ou em ramos de 2 a 3 nas axilas e nas extremidades dos ramos. (MELO et al., 2004; LORENZI E MATOS, 2008; GALLUCCI et al., 2010).

O uso desta espécie na medicina empírica foi introduzido pelos índios guaranis, no século XV, para o tratamento de diversas enfermidades (FIÚZA et al., 2008).

A folha de pitangueira, mostrada na Figura 2.2, é muito empregada na medicina popular para o tratamento de febre, doenças de estômago, hipertensão, obesidade, reumatismo e bronquite. Ela possui ações calmante, anti-inflamatória e diurética (SCHMEDA-HIRSCHMANN et al., 1987; SCHAPOVAL et al., 1994, RIVERA e OBON, 1995, GRAIGER, 1996). A polpa dos frutos e óleos essenciais são utilizados na fabricação de shampoos, sabonetes e perfumes pela indústria cosmética.

Figura 2.1 Folhas e fruto de *Eugenia uniflora* L.



As folhas de *E. uniflora* possuem em sua composição principalmente óleos essenciais, flavonoides e taninos hidrolisáveis, em que elagitaninos macrocíclicos como oenoteína B, eugeniflorina D1 e eugeniflorina D2 foram isolados e identificados, assim como os fenóis 1,2,4,6-tetra-*O*-galoil- β -D-glicose, galocatequina, miricetina-3-*O*-ramnoglicosídeo (LEE *et al.*, 1997). Também foi comprovada a presença dos flavonóides quercetina, miricetina e miricetina-3-*O*-ramnopiranosídeo (SCHMEDA-HIRSCHMANN, 1995) em folhas desta mesma espécie; além destes antraquinonas (ALICE *et al.*, 1991) e diversos componentes de seu óleo essencial já foram isolados (MAIA *et al.*, 1999).

Na Resolução Brasileira número 267 (2005) as folhas de pitangueira constam em uma lista de plantas medicinais autorizadas pelo Ministério da Saúde (ANVISA) para preparo de infusões.

2.2 Secagem

A secagem é uma operação unitária que tem como objetivo a redução de umidade contida em um sólido por meio da evaporação, utilizando uma fonte de calor.

A secagem de materiais visa a preservação de algum produto bem como a redução de peso e volume, o que facilita seu manuseio e transporte, além de aumentar seu tempo de armazenamento. É uma operação muito utilizada industrialmente, seja na preparação de pós, sólidos granulares, alimentos, produtos químicos e farmacêuticos, entre outros. (COOK e DUMONT, 1991).

Ao submeter um material úmido à operação de secagem ocorrem dois fenômenos simultâneos, a transferência de energia e a transferência de massa. Ocorre transferência de energia a partir do ar ambiente, normalmente na forma de calor, a fim de evaporar a umidade localizada na superfície do sólido. A transferência de massa ocorre na forma de remoção da umidade presente no interior do material, por evaporação. Esse processo depende de algumas condições externas, como por exemplo umidade e temperatura do ar, área de superfície exposta do sólido, velocidade do ar de secagem, bem como da temperatura, natureza física e umidade do sólido.

O parâmetro mais utilizado para monitoramento do processo de secagem é a umidade do sólido, que pode estar presente no material em diferentes formas, como umidade superficial, umidade não ligada e umidade ligada (STRUMILLO e KUDRA, 1986). A umidade superficial ocorre quando o líquido existe como um filme externo sobre o material devido aos efeitos de tensão superficial. A umidade presente como uma solução líquida

dentro do sólido ou mesmo presa na microestrutura do sólido, exercendo uma pressão de vapor inferior à da água pura na mesma temperatura, é chamada de umidade ligada. A umidade em excesso é chamada de umidade não ligada (MUJUMDAR, 2014).

A umidade presente em um sólido pode ser representada em base úmida ou em base seca, conforme definido pelas Equações 2.1 e 2.2, respectivamente:

$$X = \frac{m_{ag}}{m_{ss}} \quad (2.1)$$

$$X_{bu} = \frac{m_{ag}}{m_{ss} + m_{ag}} \quad (2.2)$$

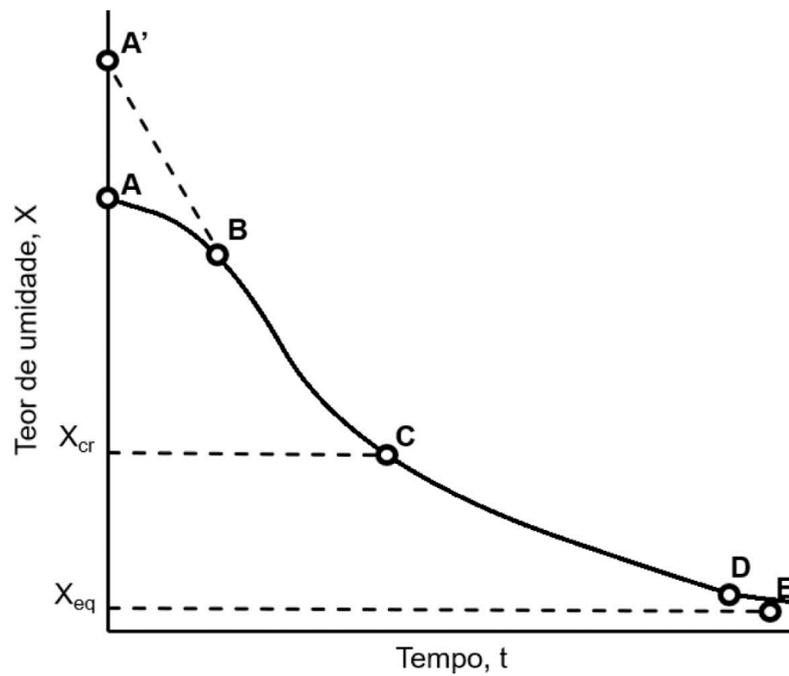
Outra forma de representar a umidade é na forma adimensional, dada pela Equação 2.3. Esta forma é útil para a análise comparativa dos estudos cinéticos de secagem.

$$MR = \frac{m_t - m_e}{m_0 - m_e} \quad (2.3)$$

2.3 Curvas de secagem

Os dados coletados experimentalmente são apresentados usualmente em duas formas diferentes, em curvas de umidade média em função do tempo (curva de cinética de secagem) e da taxa de secagem em função da umidade média. Sendo assim, a cinética irá relacionar a mudança da umidade média do material em função do tempo, como ilustrado na Figura 2.2. Três parâmetros fundamentais que influenciam a cinética de secagem são umidade, temperatura e velocidade do ar (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

Figura 2.2 Curva típica de secagem

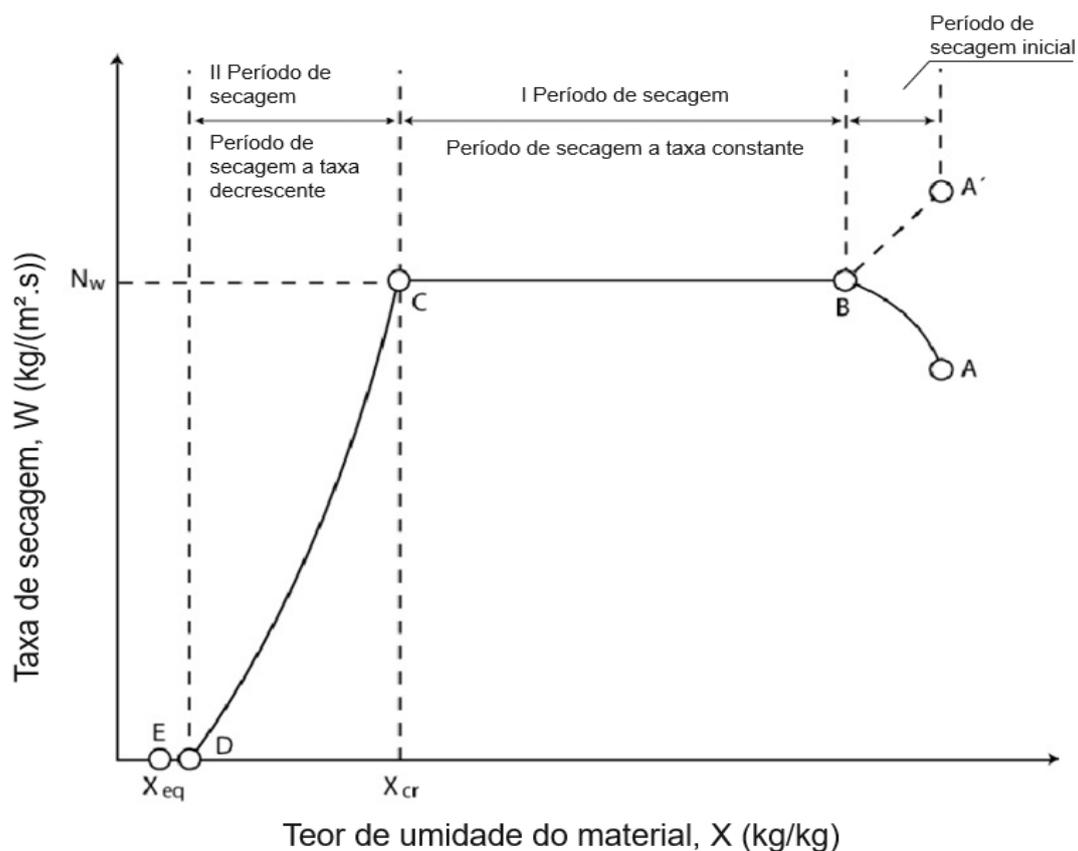


Fonte: Adaptado de Strumillo e Kudra (1986)

A Figura 2.3 mostra a curva de taxa de secagem modificada como função da umidade do material. Sendo que a taxa de secagem, representada pela Equação 2.4, é a quantidade de umidade removida do material por unidade de tempo (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

$$N = -\frac{dX}{dt} \quad (2.4)$$

Figura 2.3 Curva da taxa de secagem



Fonte: Adaptado de Strumillo e Kudra (1986)

Para comparação entre diferentes condições, é mais conveniente utilizar a Equação 2.5, uma modificação da Equação 2.4, em que a taxa de secagem é expressa por unidade de área.

$$W = \frac{m}{A} \frac{dX}{dt} \quad (2.5)$$

Observando-se as Figuras 2.3 e 2.4 é possível notar a presença de três períodos distintos: período inicial de secagem, período de secagem à uma taxa constante e à uma taxa decrescente. Os segmentos AB ou A'B' representam o período inicial da secagem, intervalo em que ocorre a estabilização entre a temperatura do material e a temperatura de bulbo úmido do ar da secagem. Em seguida se inicia o período de secagem à taxa constante, representado pelo segmento BC. Nesta etapa a quantidade de água disponível no material é muito grande, o que significa que a superfície do material estará saturada, coberta por um filme de água

livre, de forma que as taxas de transferência de massa e calor se mantêm equivalentes. Ocorrerá a queda linear de umidade até que se atinja o ponto C, denominado ponto crítico. A partir deste instante a movimentação do líquido até a superfície não é mais suficiente para manter o filme contínuo de água livre sobre a superfície do material. O segmento CD corresponde ao período em que a taxa de secagem é decrescente. Nesta fase, a quantidade de umidade na superfície começa a diminuir, o que implica na redução da velocidade de secagem. Como consequência, a temperatura do material aumenta até atingir a temperatura do ar de secagem. O fator limitante desta etapa é a migração interna da umidade, por isso a estrutura interna do material é um fator determinante. Esta etapa pode ser dividida em duas partes: a primeira e segunda fases. A primeira fase compreende o intervalo em que a umidade livre presente no produto é contínua e ocupa todos os poros do material, não havendo presença de ar. A umidade é transferida em direção à superfície por capilaridade, mecanismo responsável por controlar a velocidade de secagem nesta fase. Na segunda fase ocorre a remoção da umidade da superfície por evaporação, provocando a entrada de ar, fazendo com que surjam bolsas de ar dispersas no líquido contido no interior dos poros. O escoamento capilar ocorrerá somente em alguns locais. O ponto crítico (C), em que se tem a umidade crítica (x_{cr}), aproxima-se assintoticamente do conteúdo da umidade de equilíbrio, representada pelo ponto E. O intervalo compreendido por DE representa a fase final da secagem, período em que ocorre a total evaporação de umidade do interior do material e o vapor difunde-se através deste até chegar à superfície, em seguida, reduz ainda mais a velocidade de secagem. Ao atingir a umidade de equilíbrio, a taxa de secagem torna-se nula, isso significa que a pressão parcial do vapor na superfície do material tornou-se igual à pressão de vapor na fase gasosa (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

2.4 Secagem por micro-ondas

O principal mecanismo de aquecimento envolvido na secagem por micro-ondas é o aquecimento por rotação dipolar, também conhecido como aquecimento dielétrico. Neste processo a orientação randômica das moléculas apolares é desfeita a partir da incidência de um campo elétrico. Uma molécula polar, como a água, ao ser exposta a um campo elétrico, tende a se alinhar com o campo. No forno de micro-ondas o campo inverte seu sentido periodicamente. Quando o campo é relaxado as moléculas irão retornar à posição original, mas em seguida, ocorrerá nova perturbação, agora em sentido contrário, com a incidência

do campo elétrico de polaridade inversa. Essa alternância de polaridade do campo ocorre milhões de vezes por segundo e provoca o contínuo alinhamento e desalinhamento de dipolos. O processo faz com que a energia do campo elétrico seja convertida em energia potencial armazenada no interior do material e posteriormente em energia cinética ou energia térmica (METAXAS e MEREDITH, 1983).

O mecanismo de secagem por micro-ondas é consideravelmente diferente dos meios convencionais. Na secagem convencional, o transporte de umidade no material é controlado pela velocidade de difusão da água até a superfície e é impulsionada pelo gradiente de concentração entre o interior e a superfície. A diferença de temperatura entre o interior e a superfície do material é a força motriz para a transferência de energia. Geralmente, estes mecanismos implicam em processos lentos de transferência de calor e massa, e requerem temperaturas relativamente altas para acontecer. Já no micro-ondas, ocorre a geração de energia térmica internamente ao material e a transferência de massa ocorre devido à diferença de pressão estabelecida como consequência da rápida geração de vapor no interior do sólido. Esse mecanismo faz com que ocorra um deslocamento forçado do líquido para a superfície na forma de vapor, sendo que grande parte da umidade evapora antes de chegar à superfície. Consequentemente o processo de secagem ocorre de maneira rápida, sem que seja necessário usar altas temperaturas (CAMPOS, 1986).

Uma característica interessante da secagem por micro-ondas é que para os materiais que possuem distribuição não uniforme de umidade, as partes que possuem maior umidade irão produzir maior calor, provocando aquecimento seletivo do material. Então, quanto maior a umidade inicial, maior a quantidade de calor produzida, e, portanto, mais rápida será a secagem. Ao final do processo de secagem, quantidades de umidade muito próximas são encontradas em amostras com diferentes umidades iniciais, por isso pode-se dizer que a secagem por micro-ondas pode ser utilizada de forma eficiente a fim de produzir uma distribuição de umidades praticamente constante ao longo da amostra (MONZÓ-CABRERA ET AL., 2000).

O processo de secagem utilizando micro-ondas combinadas com a aplicação de vácuo é rápido e eficiente. Como descrito anteriormente, a energia das micro-ondas penetra nos materiais, onde é transformada em energia térmica, proporcionando um rápido aquecimento. Ao mesmo tempo, o vácuo atua reduzindo o ponto de ebulição da água, o que mantém a temperatura do produto relativamente baixa, de forma a criar um gradiente de pressão, que melhora a taxa de secagem. (SHAM, 2001). Devido ao vácuo, o material é mantido em

atmosfera com pouco oxigênio, o que reduz as reações de compostos que são sensíveis à oxidação, se comparado com a secagem por ar quente.

Existem algumas vantagens quanto ao uso de energia de micro-ondas em processos de aquecimento e secagem, entre elas estão o aquecimento uniforme do material, eficiência na conversão da energia e aumento na qualidade do produto final, pois evita-se o superaquecimento e endurecimento da superfície ocasionados pelos processos convencionais. Além disso, há menor tempo de processo, menor espaço requerido, controle mais rápido e facilitado do processo (MUJUMDAR e MENON, 1995). Entretanto, Wang e Xi (2005) afirmam que se o aquecimento for realizado de maneira inadequada, pode gerar produtos de baixa qualidade. Outra desvantagem é que a energia de micro-ondas é cara em termos de investimento e custo de energia (HEINDL e MÜLLER, 2007).

Existem alguns trabalhos anteriores na literatura sobre secagem de outros tipos folhas em micro-ondas, visto que cada espécie de planta se comporta de maneira particular devido a suas diferentes estruturas. Demirhan e Özbek (2011) realizaram um estudo com diferentes potências e tempos de secagem para determinar as características da secagem em camada fina das folhas de aipo submetidas a tratamento por micro-ondas. Böhm et al (2002) estudaram estabilização da qualidade de salsinha fresca utilizando micro-ondas combinado com vácuo e compararam com a secagem convectiva, e obtiveram produtos de qualidade superior. Heindl e Müller (2007) compararam a secagem do manjericão e orégano no micro-ondas combinado com vácuo e convectiva. A secagem por micro-ondas combinada com vácuo apresentou resultados de melhor coloração para o manjericão, retenção de sabor para orégano e preservação de compostos para as duas espécies.

2.5 Curvas de secagem por micro-ondas

As curvas de cinética de secagem para micro-ondas podem ser descritas por curvas similares às descritas para secagem convectiva. Na cinética por micro-ondas existem 3 estágios que representam a curva de secagem: o período de aquecimento, o período de taxa de secagem constante e o período de taxa de secagem decrescente. (METAXAS e MEREDITH, 1983). No primeiro estágio a energia gerada é usada para o aquecimento da água contida na amostra. Neste período a taxa de secagem aumenta de forma linear. No segundo estágio, a inclinação será dependente da potência que alimenta o micro-ondas, sendo uma relação linear. A última fase tem início quando se atinge a umidade crítica. Isso

pode ser percebido com a redução de quantidade de umidade presente no material (MONZÓ-CABRERA ET AL., 2000).

2.6 Descrição da cinética de secagem usando equações empíricas

A cinética é um termo relacionado ao estudo das taxas de diferentes processos utilizando modelos matemáticos. A cinética analisa como as diferentes condições influenciam a velocidade, além de fornecer informações sobre os mecanismos envolvidos no processo (MUJUMDAR, 2014). Diversas equações foram propostas na literatura para descrever a cinética de secagem de diferentes materiais. Algumas dessas equações estão apresentadas na Tabela 2.1:

Tabela 2.1 Equações empíricas de cinética de secagem

Modelo	Equação	
Page (PAGE, 1949)	$MR = \exp(-k \cdot t^n)$	(2.6)
Henderson e Pabis (HENDERSON; PABIS, 1961)	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(2.7)
Midilli e Kucuk (LAHSASNI et al., 2004)	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(2.8)

Fonte: Lima (2013).

Sendo a, b e n constantes empíricas das correlações e k o coeficiente empírico das correlações (LIMA, 2013).

2.7 Secagem de folhas

Plantas aromáticas e medicinais passam pelo procedimento de secagem a fim de minimizar a perda de princípios ativos e retardar o processo de deterioração resultante da redução da atividade enzimática, o que permite a sua conservação por um período de tempo

maior visando a posterior comercialização e utilização. Além do mais, a secagem afeta demasiadamente o rendimento e composição química das espécies, em especial as plantas aromáticas, pois possuem em sua constituição substâncias muito voláteis (VON HERTWIG, 1991).

Existe uma crescente demanda para melhorar o processamento desses produtos, por isso, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas para secagem e armazenamento, a fim de que a biomassa produzida pela planta e suas propriedades químicas possam ser aproveitadas da forma mais efetiva possível (MARTINS ET AL., 2015; TABALDI ET AL., 2012). Com o objetivo de manter a qualidade pós colheita, assim como conservar os compostos utilizados na produção de fitoterápicos, é fundamental que as plantas medicinais tenham seu teor de água reduzido imediatamente após a colheita (GONELI ET AL., 2014). É nesse contexto que a secagem se torna o processo mais recomendado para assegurar a manutenção da qualidade e estabilidade pós colheita. Como cada produto possui características específicas, as condições de secagem devem se adequar a cada material. Por isso, torna-se necessário obter informações teóricas sobre o comportamento de cada produto diferente que será submetido ao processo de secagem (SILVA ET AL., 2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os processos de secagem foram realizados no Centro de Secagem do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos.

3.1 Materiais

As folhas de pitangueira utilizadas nas secagens foram coletadas de árvores cultivadas no campus da UFSCar. As folhas selecionadas eram saudáveis e com boa aparência. Procurava-se selecionar folhas sempre de uma altura intermediária nas árvores. Eventuais impurezas e materiais estranhos eram eliminados manualmente e as folhas danificadas eram descartadas.

3.2 Equipamentos

Antes, durante e após a secagem, as folhas foram pesadas em uma balança semi-analítica Gehaka, modelo BG440, com precisão de 0,001g, que pode ser vista na Figura 3.1.

Figura 3.1. Balança semi-analítica Gehaka, modelo BG440.



Fonte: Gardenal (2019).

Para secagem das folhas de pitangueira foi utilizado um micro-ondas doméstico White-Whestinghouse, modelo EM 3500B, apresentado na Figura 3.2., de 1350W de

potência e frequência 2450 Hz, com capacidade de 40 litros. O mesmo forno foi utilizado para o modo de secagem micro-ondas a vácuo, isso foi possível devido a uma adaptação com uma bomba de vácuo acoplada a um recipiente, onde eram inseridas as placas de Petri.

Figura 3.2. Micro-ondas doméstico White-Whestinghouse, modelo EM 3500B



Fonte: Adaptado de Fumagalli (2003).

Os ilustrados na imagem representam:

1. Forno micro-ondas
2. Cronômetro
3. Ajuste de tempo e potência

3.3 Procedimentos experimentais e de cálculo

3.3.1 Ensaio de secagem com aplicação de micro-ondas

O estudo foi realizado com secagem em 3 diferentes potências (120, 240 e 360 W) e duas condições diferentes (com e sem vácuo). Para cada conjunto de parâmetros foram realizadas medidas em duplicata.

Amostras com 10,0 g de folhas eram dispostas em uma placa de Petri para secagem e pesadas (a cada 1 minuto) a partir do início da secagem. Ao se atingir uma diferença entre medidas consecutivas igual ou inferior à precisão da balança utilizada, o experimento era finalizado.

Com a finalidade de determinar a influência da potência e da utilização do vácuo na secagem das folhas de pitangueira, foram obtidas curvas de umidade adimensional (Equação

2.3) em função do tempo de secagem. Foi realizado o ajuste dos dados experimentais às equações empíricas utilizando-se as Equações 2.6, 2.7 e 2.8. A determinação dos parâmetros de ajuste dos modelos foi feita com o auxílio do software Statistica. A qualidade do ajuste dos modelos testados foi determinada pela utilização dos valores de parâmetros estatísticos: o coeficiente de determinação (R^2) e a soma dos quadrados dos resíduos (SQR), estimados respectivamente pelas Equações 3.1 e 3.2:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{i,mod} - y_{med,exp})^2}{\sum_{i=1}^N (y_{i,exp} - y_{med,exp})^2} \quad (3.1)$$

$$SQR = \sum_{i=1}^N (y_{i,exp} - y_{i,mod})^2 \quad (3.2)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de analisar e identificar o efeito das diferentes condições sobre a cinética de secagem, foram obtidas, a partir dos dados experimentais, curvas de umidade adimensional em função do tempo de secagem.

Os valores de potência a serem discutidos nos resultados foram apresentados em unidade de potência nominal utilizada para secagem por massa de folha.

4.1 Ensaio de secagem com aplicação de micro-ondas

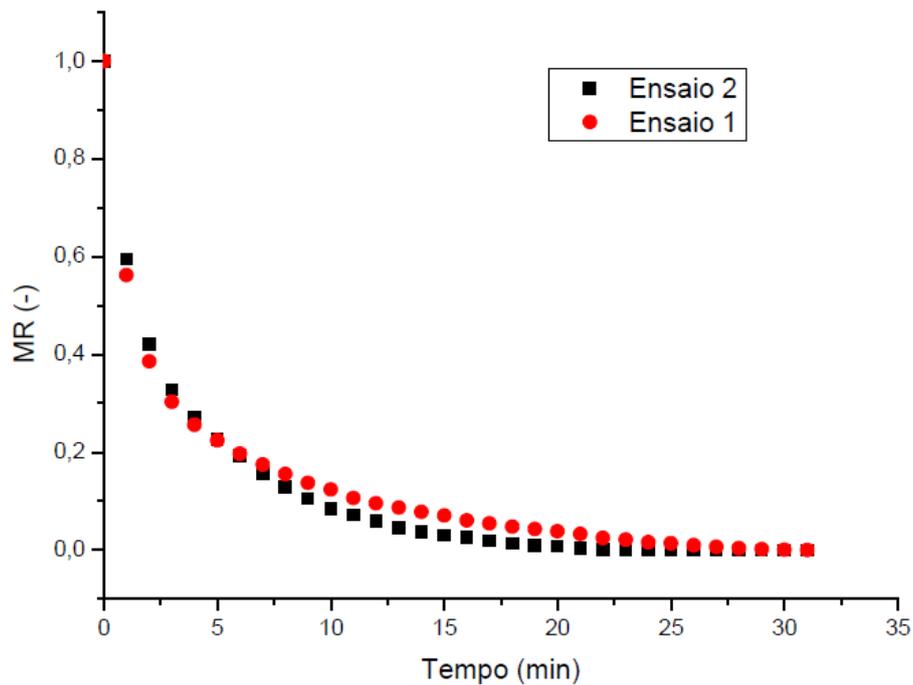
4.1.1 Verificação da reprodutibilidade dos ensaios

Os ensaios foram feitos em duplicata para quase todas as potências, exceto para a condição de 24 W/g sem vácuo, que foi feito em triplicata. Para verificar a reprodutibilidade dos ensaios, foram construídos gráficos com os pontos experimentais de cada um dos ensaios e calculados os desvios padrões.

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram as curvas de umidade adimensional em função do tempo para fins de verificação de reprodutibilidade dos ensaios, sendo que a primeira apresentou maior desvio padrão e a segunda menor desvio padrão dentro todos os ensaios analisados. O desvio padrão encontrado foi menor para 12 W/g sem vácuo e maior para 36 W/g sem vácuo, com valores médios de 0,0045 e 0,016 respectivamente.

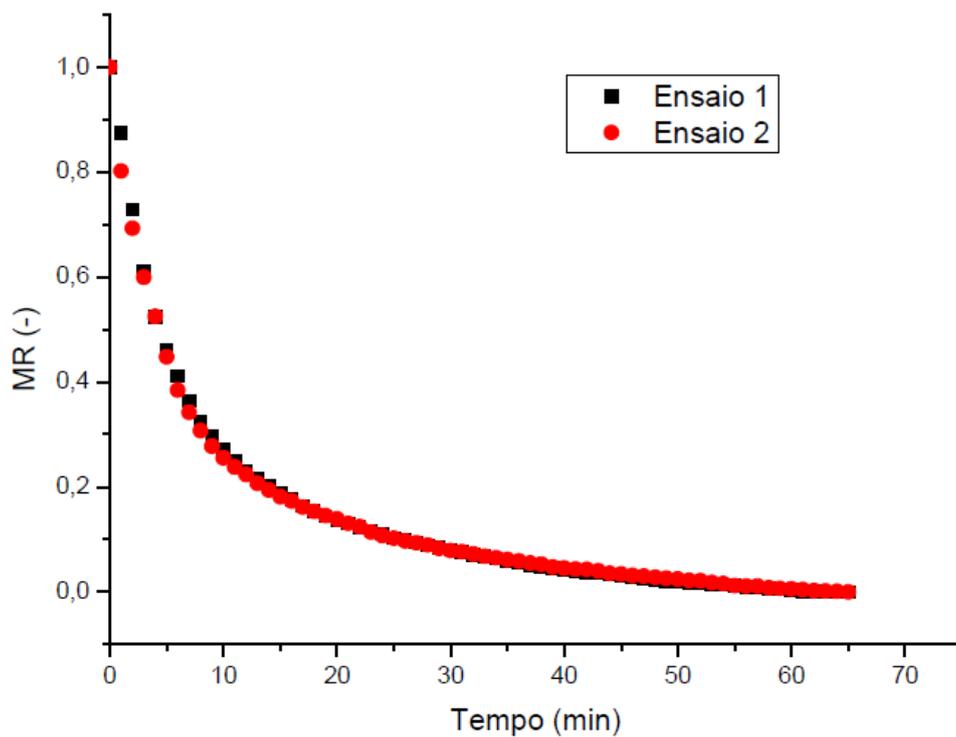
Os desvios calculados foram baixos e com base nas curvas é possível observar que os ensaios são reprodutíveis. No caso de menor desvio elas praticamente se sobrepõem e no caso de maior desvio elas ficam bem próximas entre si, sendo, portanto, razoável considerar a média dos ensaios para fins de análise.

Figura 4.1 Curvas de umidade adimensional em função do tempo para análise de reprodutibilidade, potência de 36 W/g sem vácuo



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 4.2 Curvas de umidade adimensional em função do tempo para análise de reprodutibilidade, potência de 12 W/g sem vácuo

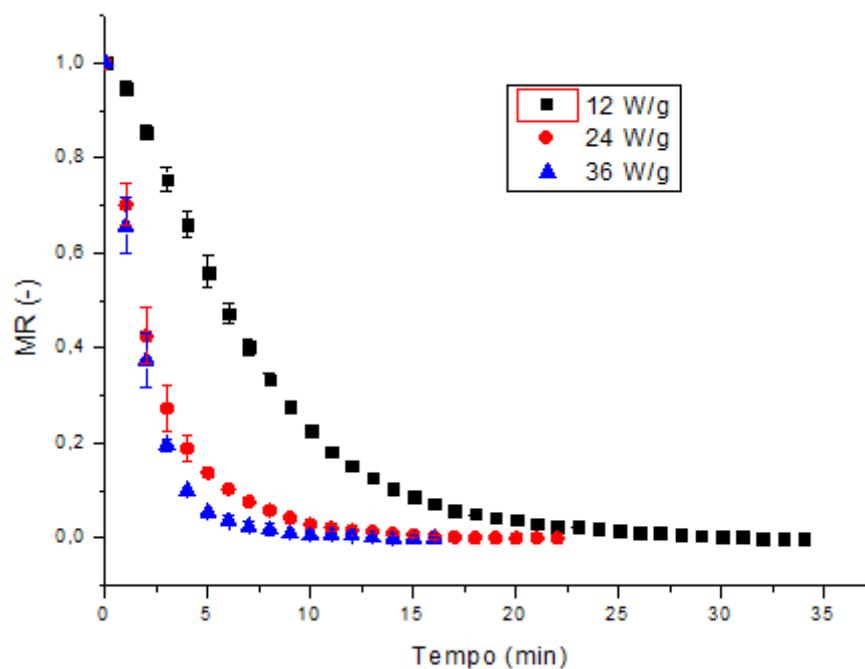


Fonte: Acervo pessoal.

4.1.2 Curvas de cinética de secagem em micro-ondas

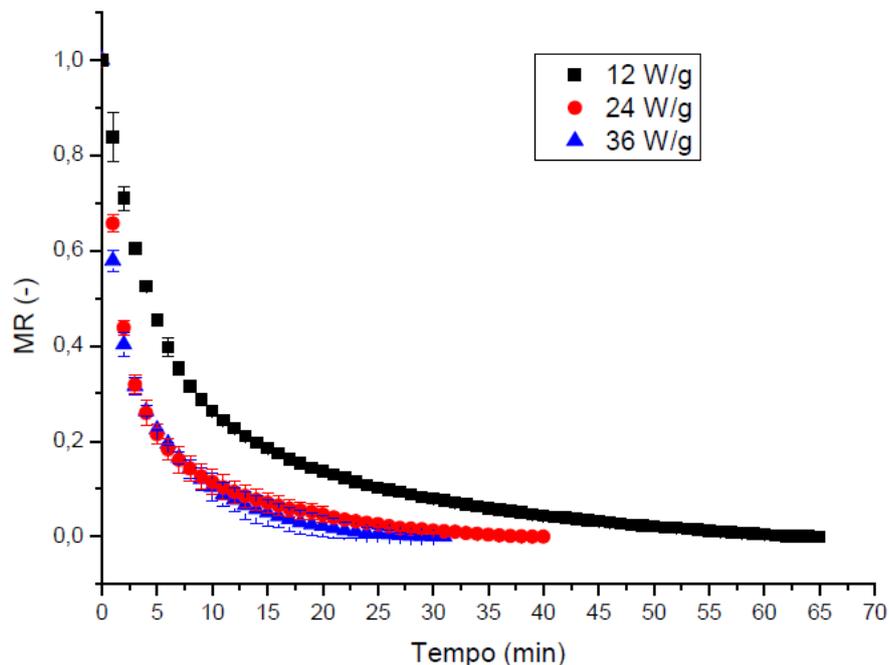
As Figuras 4.3 e 4.4 mostram as curvas de umidade adimensional em função do tempo para as potências de 12 W/g, 24 W/g e 36 W/g com e sem vácuo, respectivamente.

Figura 4.3 Curvas de cinética de secagem das folhas de pitangueira em diferentes potências com vácuo



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 4.4 Curvas de cinética de secagem das folhas de pitangueira em diferentes potências sem vácuo



Fonte: Acervo pessoal.

O aumento da potência de micro-ondas aplicada ocasionou aceleração da cinética de secagem das folhas de pitangueira, fato que pode ser observado nas Figuras 4.3 e 4.4. Para as duas condições (com e sem vácuo) a queda da umidade foi muito mais lenta para a potência 12 W/g, se comparada com as demais potências. Para a condição com vácuo, a maior potência teve secagem mais rápida, com uma diferença perceptível para as potências de 24W/g e 36 W/g, porém menor. Já para a secagem sem vácuo a diferença entre as curvas obtidas nas potências de 24 W/g e 36 W/g foi pouco significativa. Este resultado condiz com o esperado para a secagem via micro-ondas, confirmando que quanto maior a potência aplicada, maior será a quantidade de calor interno gerado no material, e, conseqüentemente, mais rápida será a vaporização da umidade e a diferença de pressão estabelecida.

Canabarro (2019) realizou a secagem de folhas de pitangueira em estufa de convecção forçada a 50°C, 60°C e 70°C obtendo tempos de secagem que variaram entre 125 e 340 minutos para menor e maior temperatura, respectivamente. Comparando esses valores com o obtido na condição em que a secagem em micro-ondas foi mais demorada (12W/g sem vácuo), o tempo de 65 minutos é aproximadamente metade do observado na condição em que a secagem convectiva ocorreu em menor tempo (70°C). Sendo assim, os tempos de

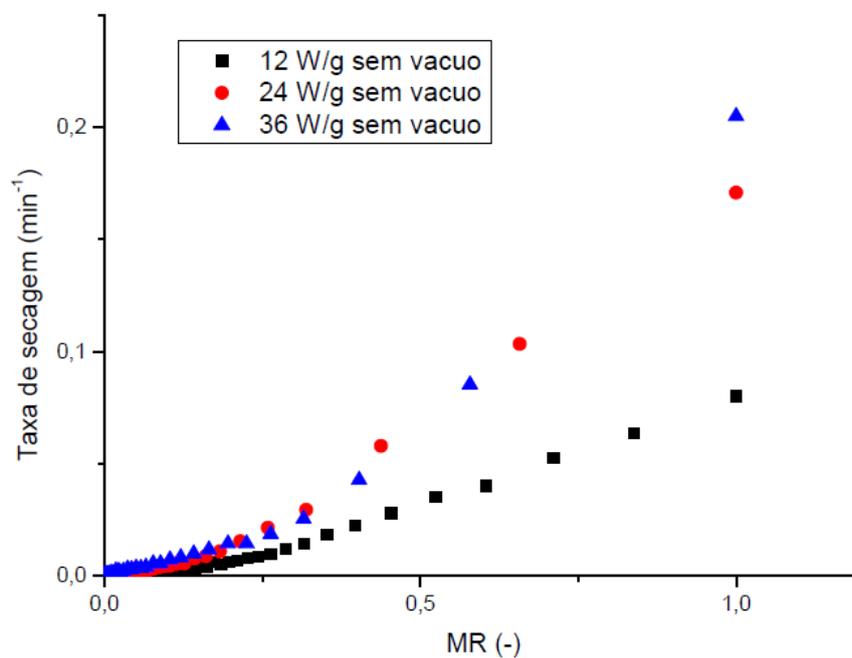
secagem em todas as condições são significativamente menores para a secagem em micro-ondas.

As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam as curvas construídas a partir da taxa de secagem em função do teor de umidade, que permitem visualizar o efeito da potência aplicada na taxa de secagem. A menor taxa de secagem foi encontrada para a menor potência (12 W/g), para as condições com e sem vácuo. Para a condição com vácuo é possível perceber a taxa de secagem mais alta para a maior potência. Além disso, a taxa máxima atingida durante a secagem com a potência de 36 W/g, $0,20 \text{ min}^{-1}$ foi aproximadamente três vezes a taxa máxima alcançada pela potência de 12 W/g, que foi igual a $0,06 \text{ min}^{-1}$ e cerca de 25% maior que a taxa máxima alcançada pela potência de 24 W/g, que foi de $0,15 \text{ min}^{-1}$. Isso significa que nas secagens utilizando micro-ondas e micro-ondas combinado com vácuo as diferentes potências utilizadas influenciam na secagem, porém a partir de 24 W/g acabam sendo limitadas por alguns fatores que serão discutidos adiante. Para a condição com vácuo há influência em menor grau que para a condição sem vácuo.

Diferente das demais curvas, que apresentam somente o período de taxa de secagem decrescente, a curva de 12 W/g com vácuo apresentou comportamento anômalo, o que fez com que se assemelhasse a uma curva cinética de secagem micro-ondas. Por conta da pandemia não foi possível realizar um novo ensaio no laboratório para a construção de outra curva. Tendo em vista que a secagem nessa condição não é a condição mais lenta estudada, não seria justificável existir os 3 períodos na secagem.

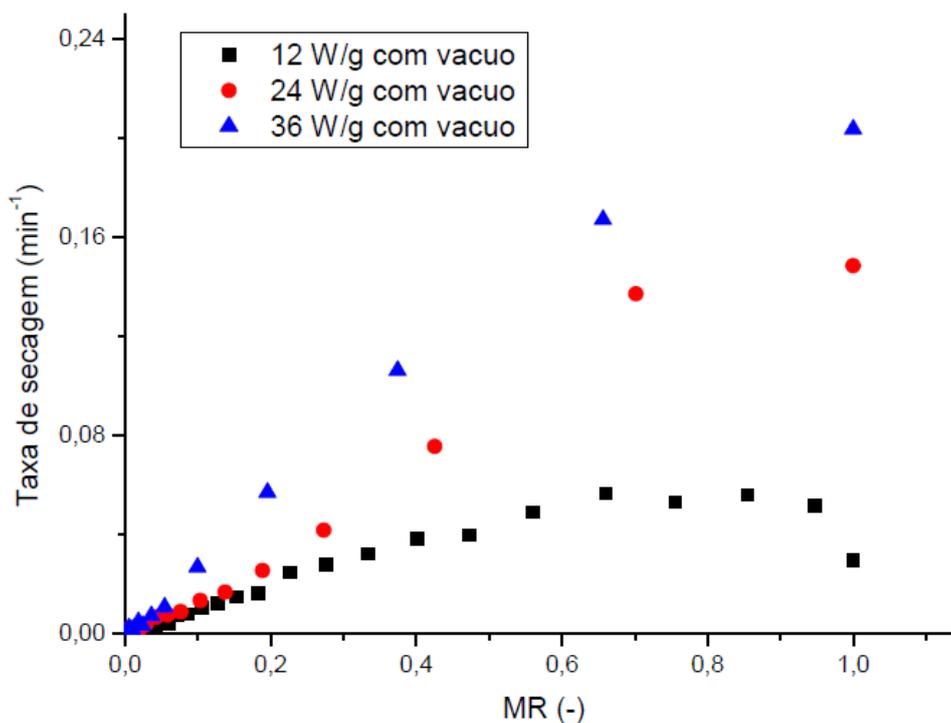
As demais curvas, que apresentam somente o período de taxa decrescente, mostram que a remoção de umidade foi controlada por mecanismos internos de migração de umidade (capilaridade, pressão interna estabelecida pela retração durante a secagem, difusão).

Figura 4.5 Taxa de secagem em função da umidade adimensional para a secagem das folhas de pitangueira em diferentes potências sem vácuo



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 4.6 Taxa de secagem em função da umidade adimensional para a secagem das folhas de pitangueira em diferentes potências com vácuo

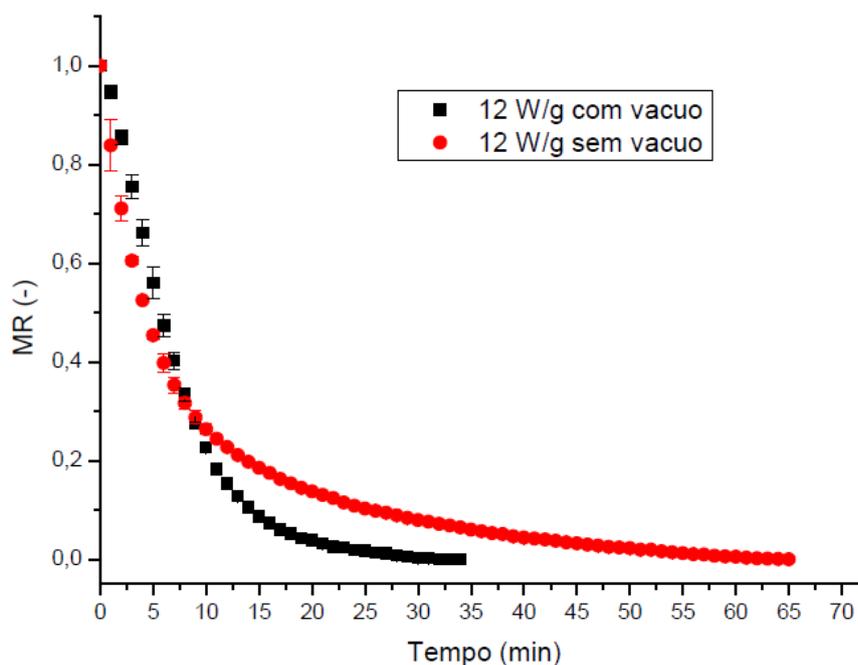


Fonte: Acervo pessoal.

A partir da potência 24 W/g para as duas condições (com e sem vácuo) ocorre a influência de alguns fatores, que faz com que tanto as curvas de cinética de secagem como as de taxa de secagem fiquem mais próximas das curvas de maior potência. Uma possível explicação para isso são as limitações do material, visto que as folhas de pitanga são materiais biológicos e apresentam certa fragilidade. Outra hipótese é que está sendo fornecida energia além do necessário para a remoção da água do material. A energia em excesso promove o aquecimento do material, acabando por degradá-lo. Quanto maior a quantidade de energia em excesso maior será a degradação do material ao final da secagem. Esses fatores contribuem em maior grau para o caso com vácuo, em que as curvas se encontram muito próximas e em menor grau para a condição sem vácuo, que as curvas se aproximaram, mas ainda possuem um certo distanciamento.

As taxas de secagem obtidas na tese de Canabarro (2019) variaram de 0,040 a 0,013 min^{-1} para a maior e menor temperatura, respectivamente. Comparando com a condição de menor taxa de secagem em micro-ondas (12 W/g sem vácuo) com a de maior taxa de secagem convectiva forçada, tem-se um valor duas vezes maior, visto que a taxa para 12 W/g sem vácuo é de 0,080 min^{-1} . Valores que reafirmam que o tempo de secagem em micro-ondas é significativamente menor.

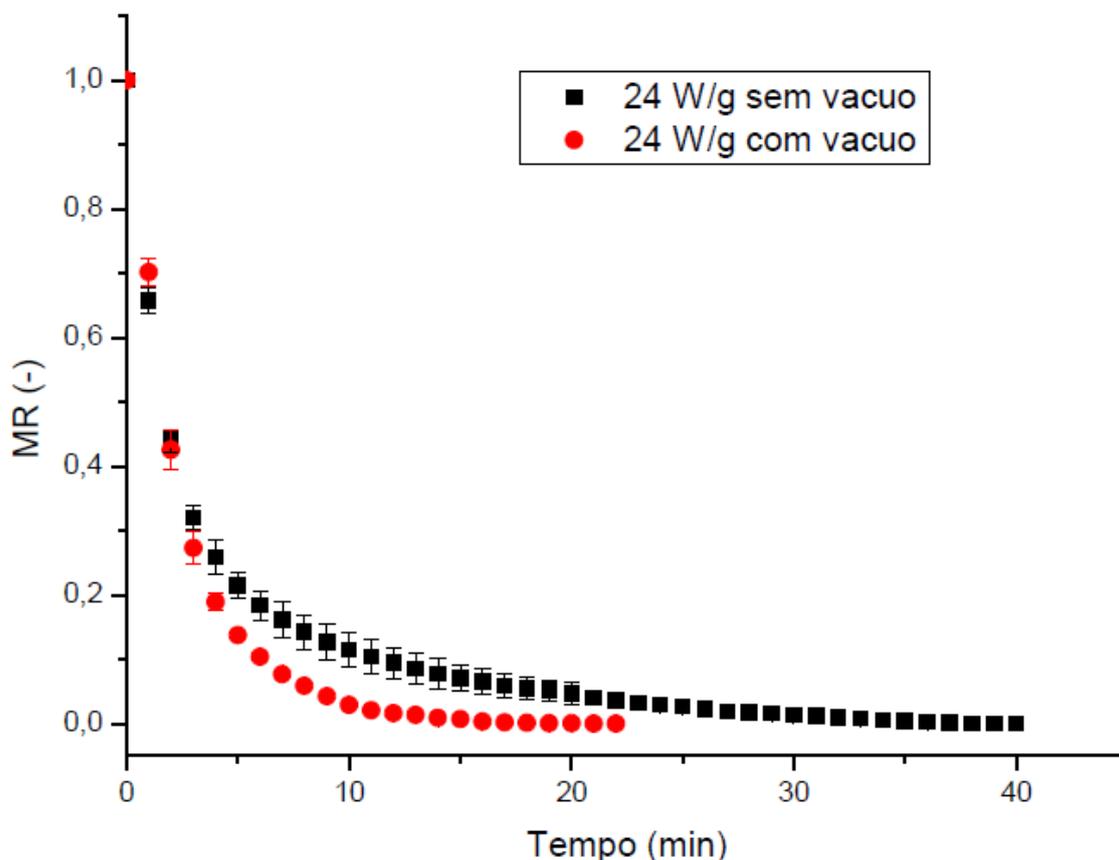
Figura 4.7 Curvas cinética de secagem das folhas de pitangueira na potência de 12W/g com e sem vácuo



Fonte: Acervo pessoal.

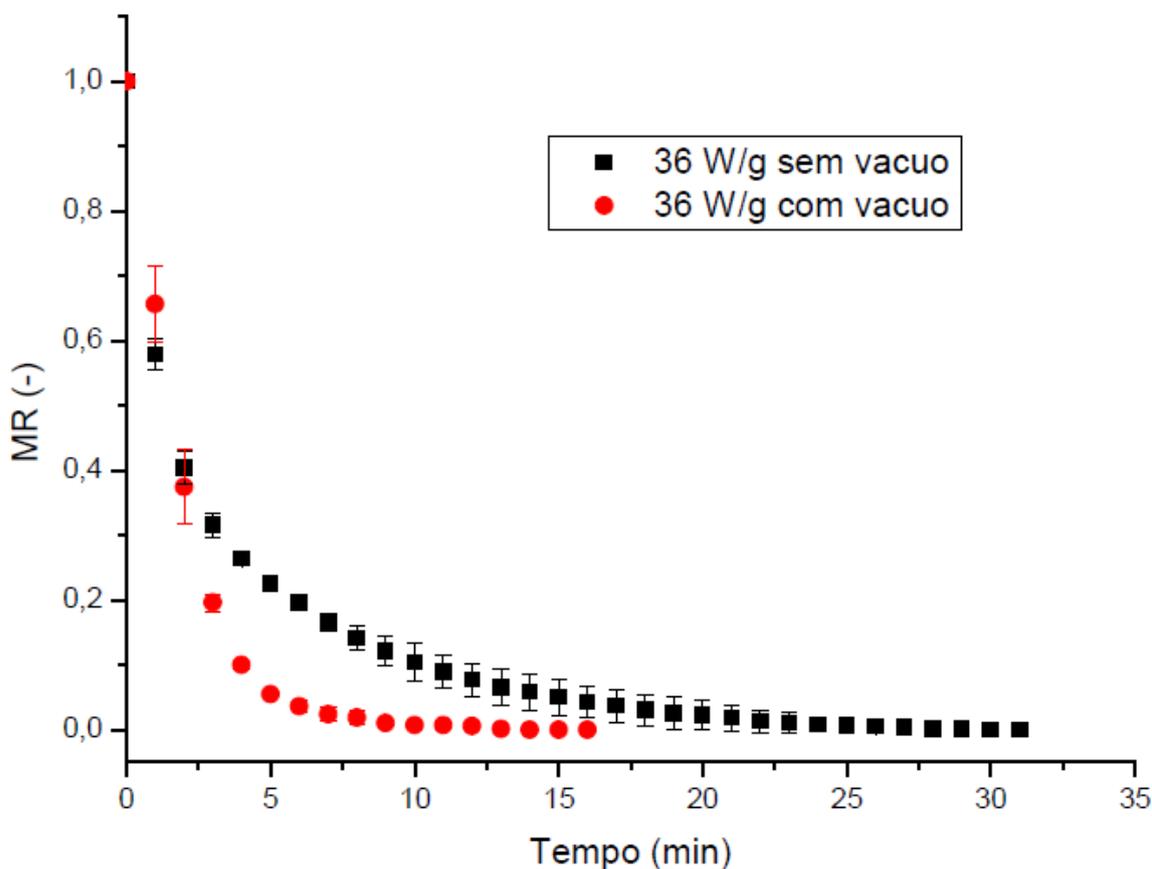
As Figuras 4.7, 4.8 e 4.9 mostram as curvas para cada uma das potências com e sem vácuo. É possível notar que as 3 curvas para as duas condições (com vácuo e sem vácuo) permanecem muito próximas até que a umidade adimensional atinja um valor próximo de 0,25, e a partir daí o decaimento é mais rápido na presença de vácuo. Isso pode ser um indicativo de que essa umidade corresponde à uma transição entre uma umidade mais fracamente ligada, que, portanto, é facilmente removível, para uma umidade fortemente ligada à estrutura do material. A partir dessa umidade a presença do vácuo exerce sua influência, reduzindo a pressão, possibilitando que a secagem ocorra de forma mais rápida. Em linhas gerais, a pressão de vácuo acelera a transferência de umidade, visto que a transferência de massa em micro-ondas ocorre pela diferença de pressão, a presença do vácuo aumenta essa diferença, aumentando o transporte de umidade do interior para a superfície do sólido.

Figura 4.8 Curvas cinética de secagem das folhas de pitangueira na potência de 24 W/g com e sem vácuo



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 4.9 Curvas cinética de secagem das folhas de pitangueira na potência de 36W/g com e sem vácuo



Fonte: Acervo pessoal.

Algumas observações sobre o aspecto visual das folhas secas: não foram observadas alterações significativas na cor nas camadas inferiores das folhas, na camada superior houve uma leve alteração para um tom mais escuro de verde, e no formato, não foi observado encolhimento.

4.1.3 Ajuste das equações

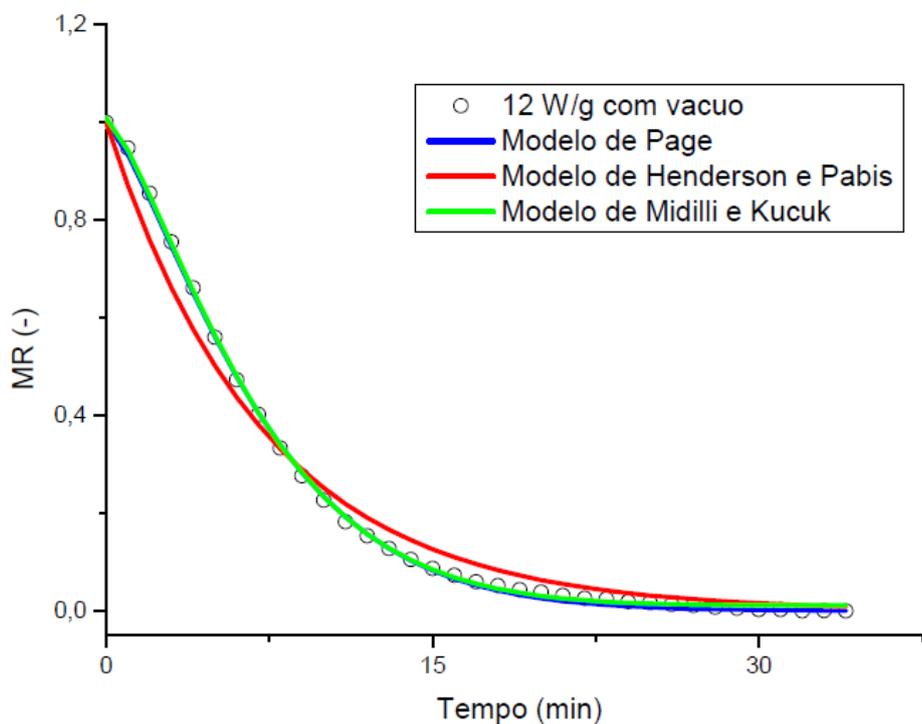
Os dados obtidos na cinética de secagem utilizando micro-ondas em diferentes potências com e sem vácuo foram ajustados ao modelo de Page (Equação 2.6), ao modelo de Henderson e Pabis (Equação 2.7) e ao modelo de Midilli e Kucuk (Equação 2.8). Para fins de análise, foram apresentadas as curvas de 12 W/g com vácuo, 24 W/g e 36 W/g sem vácuo (Figuras 4.10, 4.11, 4.12, respectivamente). A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros de ajuste para a cinética de secagem, bem como o R^2 e SQR para os modelos de Page, Henderson e Pabis e Midilli e Kucuk, respectivamente, para todas as condições avaliadas.

Tabela 4.1 Parâmetros de ajuste das Equações 2.8, 2.9 e 2.10 para a cinética de secagem das folhas de pitangueira, bem como os respectivos valores de R² e SQR

		Parâmetros						
Modelo	Potência (W)	a	B	k	n	R ²	SQR	
Page	Sem vácuo	120	-	-	0,25	0,70	0,99	1,3.10 ⁻²
		240	-	-	0,53	0,62	0,99	1,0.10 ⁻³
		360	-	-	0,56	0,62	0,99	2,0.10 ⁻³
	Com vácuo	120	-	-	0,07	1,33	1,00	1,0.10 ⁻³
		240	-	-	0,41	0,98	0,99	3,7.10 ⁻³
		360	-	-	0,43	1,20	0,99	6,6.10 ⁻⁴
Henderson e Pabis	Sem vácuo	120	-	-	0,12	-	0,98	1,2.10 ⁻¹
		240	-	-	0,31	-	0,97	8,0.10 ⁻²
		360	-	-	0,33	-	0,97	7,8.10 ⁻²
	Com vácuo	120	-	-	0,14	-	0,99	5,3.10 ⁻²
		240	-	-	0,4	-	0,99	3,8.10 ⁻²
		360	-	-	0,51	-	0,99	5,4.10 ⁻³
Midilli e Kucuk	Sem vácuo	120	1,03	1,9.10 ⁻⁵	0,26	0,69	0,99	8,9.10 ⁻⁴
		240	1,01	8,4.10 ⁻⁵	0,53	0,62	0,99	9,1.10 ⁻³
		360	1,00	5,5.10 ⁻⁵	0,58	0,59	0,99	1,1.10 ⁻³
	Com vácuo	120	1,01	3,4.10 ⁻⁴	0,07	1,33	0,99	9,1.10 ⁻⁴
		240	1,01	2,3.10 ⁻⁴	0,41	0,98	0,99	3,1.10 ⁻³
		360	1,10	2,1.10 ⁻⁴	0,52	1,08	0,99	3,8.10 ⁻⁴

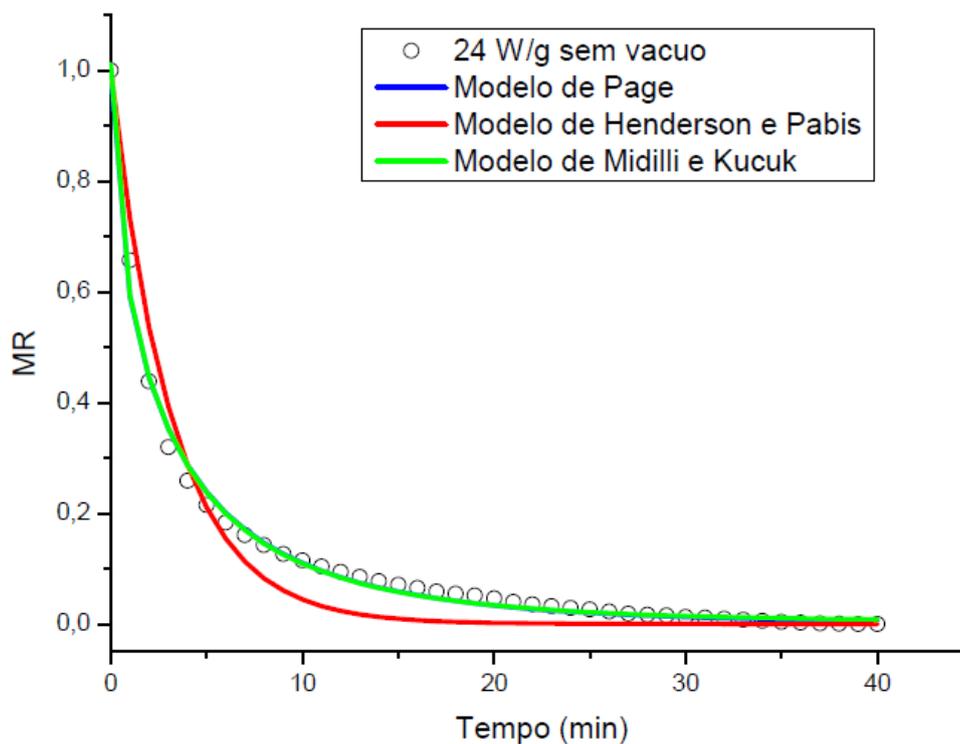
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 4.10 Curvas de cinética de secagem de folhas de pitangueira a uma potência de 12W/g com utilização de vácuo obtidas por ajuste aos modelos



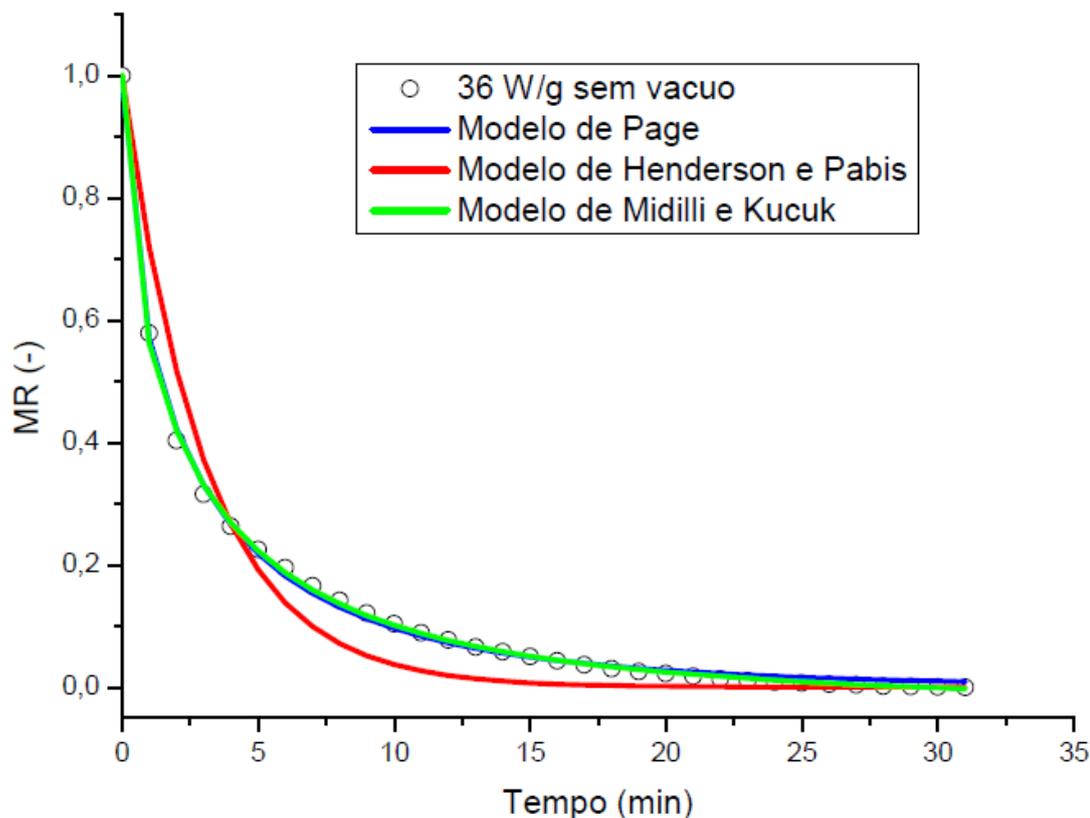
Fonte: Acervo pessoal.

4.11 Curvas de cinética de secagem de folhas de pitangueira a uma potência de 24W/g sem utilização de vácuo obtidas por ajuste aos modelos



Fonte: Acervo pessoal.

4.12 Curvas de cinética de secagem de folhas de pitangueira a uma potência de 36W/g sem utilização de vácuo obtidas por ajuste aos modelos



Fonte: Acervo pessoal.

As equações de Page e Midilli foram as que melhor se ajustaram aos dados experimentais, apresentando valores de $R^2 \geq 0,99$ para todas as condições estudadas. O modelo de Henderson e Pabis apresentou valores de $R^2 \geq 0,97$, que são valores altos, mas se comparados aos outros dois modelos, foi o modelo que apresentou pior ajuste. Todos os valores de soma dos quadrados dos resíduos foram inferiores a 10%, indicando bom ajuste aos modelos, sendo os valores obtidos para o modelo de Midilli e Kucuk ligeiramente menores se comparados aos de dos outros dois modelos. Os modelos de Midilli e Kucuk e Page apresentam curvas muito semelhantes, visto que o valor do coeficiente b obtido na equação de Midilli e Kucuk é um valor pequeno.

Considerando as equações de Page e Midilli e Kucuk, para as condições estudadas, a equação de Page pode ser recomendada para descrever as curvas de cinética de secagem, pois possui um menor número de parâmetros a serem ajustados e descrevem muito bem os dados experimentais, não sendo necessário o uso de uma equação com 4 parâmetros como a de Midilli Kucuk.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com a análise das diferentes condições de secagem em micro-ondas das folhas de pitangueira foi possível concluir que:

- a secagem em micro-ondas mostrou-se efetiva para reduzir a umidade das folhas à valores adequados para o armazenamento;

- na condição de secagem com vácuo, os tempos de secagem foram iguais a 34, 22 e 15 minutos respectivamente nas potências de 12 W/g, 24W/g e 36 W/g, evidenciando uma redução de 56% no tempo entre a menor e maior potência;

- na secagem sem vácuo, os tempos de secagem foram iguais a 60, 34 e 30 minutos respectivamente nas potências de 12 W/g, 24W/g e 36 W/g. Diferente do observado na condição com vácuo, o aumento da potência de 24 W/g para 36 W/g não influenciou significativamente o tempo de secagem;

- comparativamente, a secagem com micro-ondas em qualquer uma das condições estudadas foi mais rápida do que os valores relatados na literatura para a secagem com convecção forçada nas temperaturas 50°C, 60° C e 70°C;

- predominantemente, as curvas de secagem apresentaram apenas o período de secagem a taxa decrescente e a equação de Page foi a que ajustou os dados experimentais para a descrição da cinética de secagem da folha de pitangueira.

Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se a análise de degradação de cores para poder comparar os efeitos de secagem de cada uma das condições quanto a preservação dos bioativos da folha. Além disso, seria interessante analisar a secagem combinada (convectiva e micro-ondas), tendo em vista o alto custo de aquisição e energia do micro-onda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALICE, Cecilia Baulva *et al.* **Screening of plants used in south Brazilian folk medicine.** Journal of Ethnopharmacol, v. 35, p. 165-171, 1991.

ALONSO, J. R. **Tratado de Fitomedicina. Bases Clínicas y Farmacológicas.** Buenos Aires: Isis Ediciones S.R.L., 1998.

AURICCHIO, Mariangela Tirico.; BACCHI, Elfriede Marianne. **Eugenia uniflora L. “brazilian cherry” leaves: pharmacobotanical, chemical and pharmacological properties.** Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 62: p. 55-61, 2003.

ALMEIDA, Durinézio José de.; FARIA, Marcos Ventura.; SILVA, Paulo Roberto Da. **Biologia experimental em Pitangueira: uma revisão de cinco décadas de publicações científicas.** Revista Ambiência, v. 8, n.1, p. 177 - 193, 2012.

BÖHM, M. E., *et al.* **Quality stabilisation of fresh herbs using a combined vacuum-microwave drying process.** Department of Food Technology, Faculty of Agriculture, University of Bonn, Römerstr, v. 24, n. 2, 2002 .

CAMPOS, Marcelo Silveira. **Influência da energia de microondas na qualidade tecnológica do trigo.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, UNICAMP, Campinas, SP, 120 p, 1986.

CANABARRO, Nicholas Islongo. **Secagem convectiva de folhas visando a obtenção de compostos bioativos via extração supercrítica.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP, 175 p, 2019.

COOK, Edward Moore.; DUMONT, Harman D. **Process drying practice.** New York: Mc Graw-Hill, 1991.256p.

DEMIRHAN, Elçin; ÖZBEK, Belma. **Thin-Layer Drying Characteristics and Modeling of Celery Leaves Undergoing Microwave Treatment.** Chemical Engineering Communications, v. 198, n. 7, 2011.

FUMAGALLI, Fabíola. **Secagem de pêra em secador a microondas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP, 147 p, 2003.

GALLUCCI, Sergio *et al.* **Essential Oil of Eugenia uniflora L.: an Industrial Perfumery Approach**. Journal of Essential Oil Research. Italy. v. 22, p. 176 - 179, 2010.

GARDENAL, Amanda Coloca. **Secagem de folhas de ipê branco (*Tabebuia roseo alba* (Ridl.) Sand.) em secador de esteira: avaliação da degradação de cor e eficiência térmica**. Trabalho de Graduação, Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP, 57 p, 2019.

GONELI, André Luis Duarte *et al.* **Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.)**. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 16, n. 2, p. 434–443, 2014.

HEINDL, Albert; MÜLLER, Joachim. **Microwave drying of medicinal and aromatic plants**. Stewart Postharvest Review, v. 3, p. 1-6, 2007.

LEE, Mei-Hsien *et al.* **Two macrocyclic hydrolysable tannin dimers from Eugenia uniflora**. Phytochemistry 44, 1343-1349, 1997.

LIMA, Renata de Aquino Brito. **Análise da secagem convectiva de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos, SP, 169 p, 2013.

LORENZI, Harri. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Editora Plantarum, Nova Odessa, SP, 1998.

LORENZI, Harri; MATOS, Francisco José de Abreu. **Plantas medicinais no Brasil nativas e exóticas**. 2ª. Ed. Instituto Plantarum. Nova Odessa-SP. p. 11 - 25; p. 387 - 388, 2008.

MAIA, José Guilherme.S. *et al.* **A new chemotype of Eugenia uniflora L. from north Brazil**. J. Essent. Oil Res., 11:727-729, 1999.

MALAMAN, Felipe Scherrer *et al.* **Supercritical fluid extracts from the Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.):Relationship between the extracted compounds and the characteristic flavour intensity of the fruit Food Chemistry**. California. v. 124, 2011.

MARTINS, Elton. A. S. et al. **Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 3, p. 238–244, mar. 2015.

METAXAS, A.C., MEREDITH, R. J. **Industrial microwave heating**. London: Peter Peregrinus, 1983.

MELO, Evandro de *Castro et al.* **Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais - Revisão**. Engenharia na Agricultura, v.12, n.4, 2004.

MONZÓ-CABRERA, Juan et al. **Heat Flux and Heat Generation Characterisation in a Wet-Laminar Body in Microwave-Assisted Drying: An Application to Microwave Drying of Leather**. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. p. 1101-1110 , 2000.

MUJUMDAR, Arun S. (editor). **Handbook of Industrial Drying**. 4 ed. Nova York (EUA): Taylor & Francis Group, LLC., 2014.

MUJUMDAR, Arun. S.; MENON, Anilkumar. **Drying of solids: Principles, Classification, and Selection of dryers**. In: Handbook of industrial drying. 2a Edição. New York: Ed. Arum S. Mujumdar, Marcel Dekker, 1995.

RESOLUÇÃO BRASILEIRA, **RDC N° 267**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Ministério da Saúde, Brasil, 2005.

RIVERA, Diego; OBON, Concepción. **The ethnopharmacology of Madeira and Porto Santo Island: a review**. *Journal of Ethnopharmacol, Limeric*. v. 46, n. 2, p. 73-93, 1995.

SCHAPOVAL, Elfrides Eva Scherman *et al.* **Evaluation of some pharmacological activity of *Eugenia uniflora* leaves**. *Journal of Ethnopharmacol, Limeric*. v. 44, p. 137-142, 1994.

SCHMEDA-HIRSCHMANN, Guillermo *et al.* **Preliminary pharmacological studies on *Eugenia uniflora* leaves: xanthine oxidase inhibitory activity**. *Journal of Ethnopharmacol, Limeric*. v. 21, p. 183-186, 1987

SCHMEDA-HIRSCHMANN, Guillermo. **Flavonoids from *Calycorectes*, *Campomanesia*, *Eugenia* and *Hexachlamys* species**. *Fitoterapia* v. 64, p. 373-374, 1995.

SHAM, P. W. Y.; SCAMAN, C. H.; DURANCE, T. D. **Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pretreatment, vacuum level, and apple variety.** Journal of Food Science, v. 66, n. 9, p. 1341-134, 2001.

SILVA, Lílian Abadia da *et al.* **Cinética de secagem e difusividade efetiva em folhas de jenipapo (Genipa americana L.).** Revista Brasileira de Plantas Medicinai, v. 17, n. 4, p. 953-963, 2015.

SIMÕES, Claudia M. Oliveira *et al.* **Farmacognosia da planta ao medicamento.** 5.ed. Florianópolis: UFRGS, 2004.

STRUMILLO, Czeslaw; KUDRA, Tadeusz. **Drying: principles, applications and design.** New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986, 448p.

TABALDI, Luciane Almeri *et al.* **Cover crops and their effects on the biomass yield of Serjania marginata plants.** Ciência Rural, v. 42, n. 4, p. 614-620, 2012.

VON HERTWIG, I.F. **Plantas aromáticas e medicinais: plantio, colheita, secagem, comercialização.** 2 ed. São Paulo: Ícone, 1991. 414 p

WANG, J; XI Y. S. **Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process.** Journal of Food Engineer, v. 68, p. 505-511, 2005.