

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

DÉBORA JABS

**ESTUDO DA TEMPERATURA DE SECAGEM DO OKARA (RESÍDUO  
DO EXTRATO AQUOSO DE SOJA), CARACTERIZAÇÃO E  
AVALIAÇÃO DO PRODUTO COMO COMPLEMENTO NUTRICIONAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2013

DÉBORA JABS

**ESTUDO DA TEMPERATURA DE SECAGEM DO OKARA (RESÍDUO  
DO EXTRATO AQUOSO DE SOJA), CARACTERIZAÇÃO E  
AVALIAÇÃO DO PRODUTO COMO COMPLEMENTO NUTRICIONAL**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos – COPEQ – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR *Campus* Toledo, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos.

Orientador: Prof. Dr. Clovis Bombardelli  
Coorientador: Prof. Dra. Mônica L. Fiorese.

TOLEDO  
2013

## TERMO DE APROVAÇÃO

Estudo da temperatura de secagem do *okara* (resíduo do extrato aquoso de soja), caracterização e avaliação do produto como complemento nutricional.

por

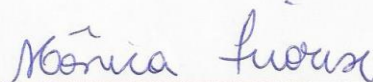
**Débora Jabs**

Trabalho apresentado no dia 05/09/2013 como forma de avaliação e obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos do curso de Tecnologia em Processos Químicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Toledo*, e aprovado pela banca examinadora abaixo.



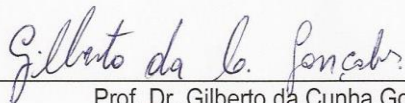
---

Prof. Dr. Clóvis Bombardelli  
ORIENTADOR/ UTFPR *campus Toledo*



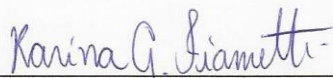
---

Prof. Dra Mônica Lady Fiorese  
COORDINADORA/UNIOESTE *campus Toledo*



---

Prof. Dr. Gilberto da Cunha Gonçalves  
UTFPR *campus Toledo*



---

Prof. Dra. Karina Fiametti  
UTFPR *campus Toledo*

Toledo, setembro de 2013.

## RESUMO

JABS, Débora. Estudo da temperatura de secagem do *okara* (resíduo do extrato aquoso de soja), caracterização e avaliação do produto como complemento nutricional. Monografia. Curso de Tecnologia em Processos Químicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo. 2013.

O objetivo deste trabalho consiste no estudo da secagem do resíduo *okara* utilizando um secador convectivo de túnel vento com velocidade de fluxo de ar de 1,0 m/s e temperaturas de 70, 80, 90 e 100 °C. Além disso, realizou-se a caracterização microbiológica e nutricional do resíduo. Pela avaliação microbiológica verifica-se que é necessário processamento rápido do resíduo *okara*, a fim de diminuir a carga bacteriana. Verificou-se também que o resíduo apresentou características nutricionais interessantes principalmente em relação ao teor de proteína e de fibras possuindo grande potencial para ser aproveitado como complemento nutricional. A avaliação da taxa de secagem levou à escolha da temperatura de 100 °C, que apresentou melhores resultados, sendo verificada que a temperatura está diretamente ligada a taxa de secagem, ou seja, quanto maior a temperatura mais rápida a amostra tende a alcançar a umidade de equilíbrio. Nos ajustes matemáticos tanto o modelo de Page como o de Midilli apresentaram boa correlação, mas optou-se pelo modelo de Page por se apresentar como o mais simples entre ambos. Como resultado da secagem obteve-se uma farinha de elevado teor proteico, mas necessita ainda maiores estudos sobre a viabilidade econômica do processo com objetivos de sua aplicabilidade ao consumo humano em vez de apenas destiná-la à alimentação animal. Também são necessários maiores estudos a fim de verificar a influência da velocidade do ar sobre a taxa de secagem.

Palavras-chave: *okara*. Taxa de secagem. Modelos matemáticos.

## ABSTRACT

Jabs, Debora. Study of drying temperature of okara (residue of the aqueous extract of soybeans), characterization and evaluation of the product as a food supplement. Monograph. Course of Technology in Chemical Processes. University Technological Federal of Paraná. Toledo. 2013.

The main objective of this work evaluates drying of residue okara employing a convective dryer wind tunnel with velocity of airflow of 1m/s and temperature of 70, 80, 90 e 100°C. For microbiological analysis it is found that rapid processing is required residue okara, in order to decrease the bacterial load. It was also found that the residue shown interesting nutritional characteristics, especially in relation for the content of fiber and protein showing great potential as a food supplement. The evaluation of the rate of drying lead to choice the temperature of 100 °C, which shows better results being the temperature directly related to drying rate, or the higher the temperature faster the sample tends to reach equilibrium moisture content. With mathematical adjustments, the model of Page and model of Midilli present better correlations, but the choice goes for the Page model that presents itself as the simplest among both. As a result of drying, a high protein meal was obtained by grinding, that still need further studies on the economic feasibility of the process for its application in human feed supplement. Also, more studies are necessary for to check the influence of air velocity on the drying rate.

Keywords: okara. Drying rate. Mathematical models.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DO MÉTODO DE OBTENÇÃO DO RESÍDUO <i>OKARA</i>	13
FIGURA 2 – ASPECTO VISUAL DO RESÍDUO <i>OKARA</i> .....	15
FIGURA 3 – CURVA TÍPICA DE SECAGEM.....	19
FIGURA 4 – TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE.....	19
FIGURA 5 – MÓDULO DIDÁTICO PARA EXPERIMENTO DE SECAGEM EM TÚNEL DE VENTO.....	25
FIGURA 6 – BANDEJA DE ALUMÍNIO.....	26
FIGURA 7 – CURVA DE SECAGEM PARA O RESÍDUO <i>OKARA</i> NAS QUATRO TEMPERATURAS (100, 90, 80 E 70°C) COM VELOCIDADE DE FLUXO DE AR DE 1M/S.....	30
FIGURA 8 – ASPECTO VISUAL DO RESÍDUO <i>IN NATURA</i> .....	31
FIGURA 9 – ASPECTO VISUAL DO RESÍDUO <i>OKARA</i> APÓS A SECAGEM.....	31
FIGURA 10 – GRÁFICO DA TAXA DE SECAGEM DO RESÍDUO <i>OKARA</i> (100 °C) .	33
FIGURA 11 – GRÁFICO DA TAXA DE SECAGEM DO RESÍDUO <i>OKARA</i> (90 °C) ...	34
FIGURA 12 – GRÁFICO DA TAXA DE SECAGEM DO RESÍDUO <i>OKARA</i> (80 °C) ...	34
FIGURA 13 – GRÁFICO DA TAXA DE SECAGEM DO RESÍDUO <i>OKARA</i> (70 °C) ...	35
FIGURA 14 – GRÁFICO DA TAXA DE SECAGEM DO RESÍDUO <i>OKARA</i> COM AS CURVAS SUAVIZADAS UTILIZANDO O MÉTODO DE MÍNIMOS QUADRADOS DINÂMICOS EM JANELA PARA DETERMINAÇÃO DA DERIVADA PRIMEIRA DE UM VETOR PARA MATLAB .....	37
FIGURA 15 – RAZÃO DE ÁGUA (ADIMENSIONAL) VERSUS TEMPO (MINUTOS) .	38
FIGURA 16 – VALORES OBSERVADOS E AJUSTADOS PELO MÉTODO DE PAGE PARA AS QUATRO TEMPERATURAS EMPREGADAS, ONDE RU É A RAZÃO DE ÁGUA (ADIMENSIONAL) .....	40

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MODELOS MATEMÁTICOS ENCONTRADOS NA LITERATURA.....	22
TABELA 2 - MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS NAS CURVAS DE SECAGEM .....	29
TABELA 3 – VALORES DOS PARÂMETROS DE SECAGEM DO OKARA NA TEMPERATURA DE 100 °C .....	39
TABELA 4 – RESULTADOS DAS ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO OKARA “IN NATURA” .....	41
TABELA 5 – COMPOSIÇÃO DO OKARA <i>IN NATURA</i> E APÓS A ETAPA DE SECAGEM .....	42
TABELA 6 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO OKARA DESSECADO .....	44

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>07</b>
1.1 OBJETIVOS .....	08
1.1.1 Objetivo Geral .....	08
1.1.2 Objetivos específicos.....	08
1.2 JUSTIFICATIVA .....	09
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
2.1 SOJA.....	11
2.2 OKARA.....	12
2.2.1 Processo de Secagem do okara .....	15
2.2.2 Tipos de secadores utilizados na literatura para a secagem do okara.....	16
2.2.2.1 Secadores do tipo tambor rotativo.....	16
2.2.2.2 Secadores do tipo pneumático <i>flash dryer</i> .....	17
2.2.2.3 Secadores do tipo leito de jorro com inertes .....	18
2.3 CURVAS DE SECAGEM E TAXA DE SECAGEM .....	18
2.3.1 Modelos matemáticos existentes na literatura.....	22
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
3.1 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E REAGENTES .....	24
3.2 OBTENÇÃO DA AMOSTRA.....	24
3.3 METODOLOGIAS .....	25
3.3.1 Obtenção dos dados cinéticos da curva de secagem .....	25
3.3.2 Análises microbiológicas .....	26
3.3.3 Análises físico-químicas .....	27
3.3.3.1 Determinação da umidade – Secagem direta em estufa a 105 °C.....	28
3.3.3.2 Determinação de proteína bruta.....	28
3.3.3.3 Determinação de Lipídios ou extrato etéreo.....	28
3.3.3.4 Determinação de matéria mineral (cinzas) .....	28
3.3.3.5 Determinação de fibra alimentar total método enzimático-gravimétrico .....	29
3.3.4 Tratamento dos dados estatísticos.....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
4.1 CURVAS DE SECAGEM.....	30
4.2 TAXAS DE SECAGEM.....	33
4.3 AJUSTES EXPERIMENTAIS .....	38
4.4 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO RESÍDUO OKARA <i>IN NATURA</i> .....	41
4.5 CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DO RESÍDUO OKARA <i>IN NATURA</i> E APÓS A ETAPA DE SECAGEM .....	42
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>46</b>
REFERÊNCIAS .....	47
ANEXO A – PROGRAMA DO MÉTODO DE MÍNIMOS QUADRADOS DINÂMICOS EM JANELA PARA DETERMINAÇÃO DA DERIVADA PRIMEIRA DE UM VETOR PARA MATLAB .....	51



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores exportadores de soja (*Glycine max* (Merrill) L.) do mundo, com uma produção estimada de 81,6 milhões de toneladas para a safra 2012/2013. Por mais que esta leguminosa represente grande importância para a economia agrícola do país, ainda não há diversidade de produtos provenientes dela (MAPA, 2013). A soja ocupa um lugar de destaque na indústria de alimentos, responsável pela produção de óleo para consumo humano e farelo para alimentação animal (PAIVA *et al.*, 2006).

A soja tem sido amplamente destacada pela mídia, devido a sua capacidade de reduzir o risco de doenças crônico-degenerativas e o efeito redutor de colesterol. Apresenta ainda a característica de aliviar os sintomas da menopausa e contém substâncias anticancerígenas em sua composição, sendo classificada como um alimento funcional (HASLER, 1998; NAHÁS *et al.*, 2003).

A soja, por conter fatores antinutricionais, jamais deve ser consumida *in natura*. No entanto, após o processamento (trituração e tratamento térmico) pode ser introduzida na alimentação de diversas formas, dentre as quais se destacam o tofu, o “leite de soja”, os grãos integrais, e o óleo de soja. Apesar das opções apresentadas, verifica-se que o consumo de soja direto na alimentação humana é muito pequeno (BEHRENS; SILVA, 2004).

O extrato aquoso dos grãos de soja (leite de soja) é obtido através da seleção de sementes inteiras, que passam por um processo de classificação e moagem antes de ser utilizado para este fim. No processamento desse extrato aquoso há a formação de dois subprodutos: o resíduo da massa de grãos (*okara*) e o resíduo da casca (PINTO; CASTRO, 2008).

O resíduo de soja (*okara*) está muito presente na comida japonesa e dos orientais. Acredita-se que na China (por volta do segundo século depois de Cristo) ocorreu o primeiro processamento do extrato aquoso para alimentação humana. Desde então, este extrato aquoso tem sido consumido diariamente nos mais diversos produtos (JACKSON *et al.*, 2001; STAUFER, 2002).

No entanto a água entra em maior proporção chegando a cerca de 80% (LESCANO, 2004). Segundo Sgarbieri (1996), um produto com alto teor de água apresenta rápida degradação. A operação de secagem é então o processo unitário

fundamental para aumentar a vida de prateleira, atuando como auxiliar no armazenamento, transporte e comercialização do produto desejado.

No processo de secagem é necessário avaliar parâmetros como temperatura do ar de entrada, velocidade do ar de secagem, tempo de aquecimento, entre outros (WACHIRAPHANSAKUL; DEVAHASTIN, 2005). Estes parâmetros variam conforme o produto a ser dessecado.

Devido à grande variedade de produtos que necessitam serem secos, existe também uma variedade de projetos de secadores disponíveis. Diversos são os parâmetros para a classificação, seleção e utilização destes. Destacam-se entre estes parâmetros, as informações sobre o produto a ser processado e o volume do processamento (PARK et al., 2007).

Segundo Evangelista (2005), o conceito de valor nutritivo não é dado somente pelos índices qualitativos e quantitativos registrados nas tabelas de composição química de alimentos, mas também por certas condições dos nutrientes como, por exemplo, o processamento, a qualidade e a composição.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Com a finalidade de aproveitar o resíduo de *okara*, proveniente da extração do leite de soja, este trabalho tem por objetivo estudar a secagem do resíduo e avaliar a caracterização nutricional para posterior desenvolvimento de um suplemento proteico para a alimentação humana e ou animal.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinação das variáveis significativas na etapa de secagem do resíduo, como tempo e temperatura, visando manter as características e valor nutricional do *okara*;

- Realizar análises microbiológicas e análises físico-químicas do resíduo “*in natura*”, além de caracterizá-lo físico-quimicamente após a etapa de secagem;
- Tratamento dos dados estatísticos através da modelagem matemática usando os modelos comumente empregados.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O aumento na demanda de alimentos no mundo é um dos motivos da busca incessante por novas fontes alternativas. Tais fontes devem possuir características nutricionais importantes que possam se incrementadas nos alimentos industrializados, além de serem economicamente viáveis e alcançar populações menos favorecidas (BICAS *et al.*, 2010)

As proteínas de origem animal como as da carne, do leite e do ovo, nutricionalmente são melhores do que as de origem vegetal, por seu conteúdo de aminoácidos essenciais em maior quantidade e qualidade. Constitui exceção as proteínas da soja e as de castanhas de caju e do Pará (EVANGELISTA, 2005).

No Brasil, que possui alto potencial de produção de soja, necessita-se caracterizar os produtos e resíduos provenientes dos processos realizados com a soja, para que se evite o desperdício de nutrientes, e se obtenha alimentos saudáveis e nutritivos, seja para consumo humano ou animal.

Bowles e Demiate (2006) encontraram 37,0% de proteínas, 13,0% de lipídeos, 2,8% de cinzas, 4,7% de carboidratos totais e 42,5% de fibra alimentar, em base seca para a farinha do resíduo de soja. Tais concentrações de proteínas e fibras favorecem a utilização deste resíduo na formulação de suplementos proteicos e fibrosos, visando melhorias nos produtos alimentícios.

Segundo Mandarino *et al.* (2004), as isoflavonas (compostos presentes na soja) são capazes de reduzir os riscos de câncer. Além delas, a soja e seus derivados também contêm inibidores como proteases, saponinas, fitoesteróis e oligossacarídeos, que podem auxiliar na redução de riscos de doenças crônicas.

Outro destaque se deve ao fato de que a farinha produzida da desidratação não possui glúten, melhorando ainda mais as características nutricionais do produto

na qual a farinha for adicionada. Esta característica também possibilita o consumo deste produto por pessoas celíacas, pois estas não podem ingerir glúten devido à doença intestinal responsável por uma má absorção e sensibilidade à gliadina encontrada no trigo, centeio e cevada. (ALMEIDA UMEDA, 2003; LUDVIGSSON *et al.*, 2012).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SOJA

Dentre os vegetais usados diariamente, a soja, pertencente à família dos *Fabaceae*, possui destaque maior pelo alto teor de proteína com aproximadamente 40%, sendo o dobro do feijão que pertence à mesma família. Além do aspecto nutricional, verificam-se estudos que comprovam a eficiência deste produto funcional no tratamento de câncer e doenças cardiovasculares (SANTOS *et al.*, 2009).

A soja não deve ser consumida *in natura* devido à presença de fatores antinutricionais como inibidores da tripsina, quimiotripsina, e proteases. A soja é tradicionalmente utilizada na produção de óleo vegetal e de ração animal, mas seu potencial nutricional e o auxílio na redução de riscos de doenças crônicas e degenerativas têm feito seu consumo humano crescer (JACKSON *et al.*, 2001).

Diante da versatilidade de produtos alimentícios obtidos através de processamento da soja, destaca-se o tofu, os próprios grãos integrais, os fermentados, o “leite de soja”, e o óleo de soja (BEHRENS; SILVA, 2004).

No Brasil o óleo de soja responde com 90% do consumo de óleos e margarinas. A torta de soja, que sobra da extração do óleo, é o principal insumo para ração animal de aves e suínos. Mas, além da proteína usada para ração animal, existem outros produtos provenientes do processo de extração como o extrato proteico de soja, o concentrado proteico de soja e o isolado proteico de soja. Apesar do pouco consumo da soja, ela é encontrada em diversos segmentos da indústria, como na produção de chocolates, sorvetes, produtos cárneos, e diversas massas (RIBEIRO, 2006).

Da soja, também provém a lecitina, um agente emulsificante que faz a ligação entre a fase aquosa e oleosa dos produtos que é muito usada na fabricação de salsichas, maioneses, achocolatados, entre outros produtos (PAIVA *et al.*, 2006).

A estimativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para o consumo de soja em 2013 é de 50,6 milhões de toneladas e deverá ficar entre 93,5 a 113,4 milhões de toneladas em 2020 (MAPA, 2013).

Do total de soja consumida atualmente, há produção de cerca de 9 milhões de

toneladas de óleo de soja. A maior parte do óleo é para o consumo humano e outra parte tem sido destinada à produção de biodiesel. A produção do farelo de soja para nutrição animal é estimada em aproximadamente 34,7 milhões de toneladas, cujo consumo interno é de 18,4 milhões de toneladas (MAPA, 2013).

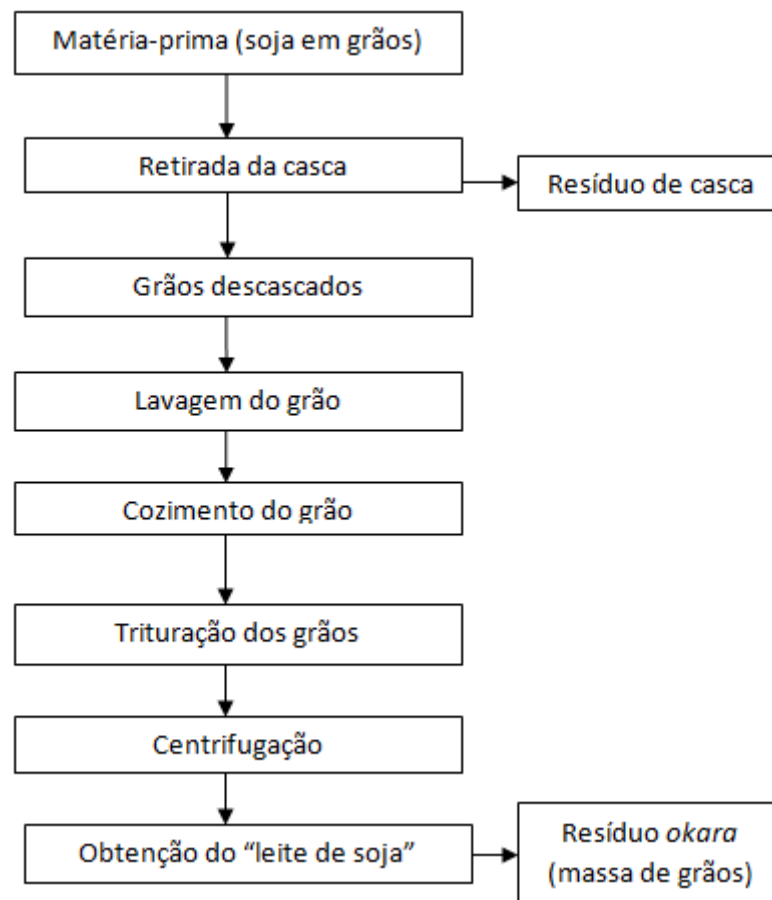
Mesmo diante da vasta quantidade de alimentos verificam-se dois grandes problemas no Brasil: a fome e o desperdício de alimentos. A fome devido à condição miserável em que se encontram 8,5% da população brasileira (IBGE). Já o desperdício ocorre devido à falta de conscientização e informação sobre tecnologias disponíveis para o melhor aproveitamento nutricional dos alimentos.

Este trabalho busca caracterizar e aproveitar o *okara*, um rejeito industrial, como alimento, tendo em vista o seu alto valor nutritivo, sua facilidade de obtenção e boa aceitação sensorial (CANTUÁRIA *et al.*, 2008; APLEVICZ; DEMIATE, 2007; CAVALHEIRO *et al.*, 2001).

## 2.2 OKARA

O extrato de soja conhecido como leite de soja é obtido a partir de grãos de soja com água, na proporção 1:10 (peso/volume). Trata-se de um produto de sabor característico de soja e aparentemente semelhante ao leite animal (WANG *et al.*, 1997).

Como subproduto da extração do leite de soja resta o resíduo *okara*. A Figura 1 representa um fluxograma do processo de obtenção do leite de soja e os subprodutos provenientes.



**Figura 1 - Fluxograma do método de obtenção do resíduo okara**  
**FONTE: O próprio**

Em relação à questão nutricional, na literatura são observados vários trabalhos que avaliam a utilização dos subprodutos industriais provenientes do processamento da soja, seja utilizando o resíduo da casca como também o resíduo *okara*.

Santos *et al.* (2008) avaliaram a utilização de quatro níveis de casca de soja (0%, 8,0%, 16% ou 24%) em substituição ao fubá de milho (0%, 25%, 50% e 75%) em dietas para bovinos em confinamento. Segundo o autor, a substituição de 75% do fubá de milho por casca de soja na dieta não afetou o desenvolvimento dos ovinos e ainda reduziu os gastos com alimentação, demonstrando a viabilidade econômica do processo.

Silva e Silva (2000) em estudo realizado avaliando a composição química e valor proteico do resíduo de soja em relação ao grão de soja, concluiu que o resíduo de soja é fonte de carboidratos, minerais, fibras e proteína de qualidade nutricional

adequada, apresentando vantagens em relação à soja integral tais como menor teor energético e maior concentração proteica.

No trabalho de Cavalheiro *et al.* (2001), a farinha de *okara* obtida apresentou 30,3% de carboidrato, 12,2% de proteína, 3,4% de lipídeos, 16,1% de fibras e 3,8% de cinzas. O autor utilizou 39,6% de farinha de *okara* para a produção de um biscoito sabor chocolate. A secagem do resíduo foi realizada numa estufa com circulação forçada, a qual se mostrou eficiente e permitiu a elaboração de um novo produto de aceitação superior ao produto sem adição do resíduo *okara*.

Cantuária *et al.* (2008) desenvolveram uma avaliação sensorial de aceitabilidade em pães de forma enriquecidos com *okara*. Verificou-se que os pães enriquecidos com 5 e 10% obtiveram ótima aceitabilidade pelos participantes, e que pelo teste sensorial de intenção de compra, 68% certamente comprariam estes novos produtos. Cunha *et al.* (2007) verificou a utilização do mesmo na produção de biscoitos, sugerindo assim, um aproveitamento mais nobre ao resíduo, que antes era consumido na forma de ração para animais.

Aplevicz e Demiate (2007) adicionaram concentrações de 5, 10 e 15% de *okara* em pré-misturas de pães de queijo e concluiu que não houve diferença quanto ao paladar, quando comparado ao pão de queijo sem a adição do resíduo *okara*, alegando assim, boa aceitação.

Segundo Bowles e Demiate (2006), pães enriquecidos com 5 e 10% de *okara* podem ser denominados produtos “fontes” ou “ricos” em fibras.

Verifica-se através dos estudos citados que o resíduo *okara*, apesar de muito nutritivo com alto teor de proteína e fibras, apresenta em maior proporção a água. Sendo classificado por Lescano (2004) como um produto com alto teor de umidade (75-80%) e de composição complexa.

Visualmente é possível caracterizá-lo como sendo um alimento denso, com textura granular e coloração branca como mostra a Figura 2.





**Figura 2 - Aspecto visual do resíduo “okara”**

Um quilo de grãos de soja mais a água padrão adicionada fornecem um total de 1,1 kg de *okara* fresco em base úmida. Da desidratação de 1 kg deste subproduto são obtidos aproximadamente 250 g de *okara* seco, ou seja, 250 g de farinha (BOWLES; DEMIATE, 2006).

Para a incrementação deste resíduo em um produto aproveitável é necessário secá-lo, pois sendo uma matéria-prima com alto teor de umidade, verifica-se uma rápida degradação por reações químicas e ação dos micro-organismos.

Com a finalidade de desenvolver um complemento nutricional, a secagem e a caracterização deste subproduto serão realizadas visando manter as características funcionais e visuais do produto *in natura*.

### 2.2.1 Processo de Secagem do *okara*

A água é um solvente natural das proteínas e de outros componentes celulares, portanto elevado conteúdo ou atividade de água provocará, em geral, maiores oportunidades de reações químicas e bioquímicas e também de crescimento de micro-organismos (SGARBIERI, 1996).

A secagem é uma operação unitária destinada à remoção de um líquido agregado a um sólido para uma fase gasosa insaturada através de vaporização térmica. Esta vaporização ocorre em uma temperatura inferior àquela de ebulição do

líquido na pressão do sistema (FOUST et al, 1982).

A secagem é uma tecnologia amplamente utilizada pelas indústrias para manter a qualidade e prolongar a vida de prateleira dos produtos devido à diminuição das reações degradativas que causam odores desagradáveis e contaminação. Outro resultado da secagem é a diminuição do tamanho e peso do produto, facilitando assim seu transporte e armazenamento. No entanto, ainda hoje, apesar dos avanços tecnológicos nas indústrias químicas e de alimentos, persistem problemas quanto aos métodos específicos adequados para a secagem dos diferentes materiais biológicos, especialmente aqueles usados para alimentação humana (PIN; LESCANO, 2009).

Outro fator importante que vale ressaltar é a inibição da ação de fatores antinutricionais característicos do resíduo de soja. Dentre estes fatores antinutricionais destacam-se os inibidores de proteases e as lectinas por serem sensíveis ao tratamento térmico e serem responsáveis por causar hipertrofia pancreática em estudos realizados com animais (SILVA; SILVA, 2000).

Como as tecnologias de secagem têm evoluído e se tornado mais diversificadas e complexas, é necessário familiarizar-se com os mais diversos tipos de equipamentos e seus respectivos programas de funcionamento. Na literatura são encontrados diversos tipos de equipamentos usados na secagem do okara: secadores do tipo tambor rotativo (LESCANO, 2004), pneumático flash dryer (GRIZOTTO; AGUIRRE, 2011), leito de jorro com inertes (FRAILE; LESCANO, 2009), entre outros.

## 2.2.2 Tipos de secadores utilizados na literatura para a secagem do okara

### 2.2.2.1 Secadores do tipo tambor rotativo

Este tipo de secagem baseia-se em um leito de partículas sólidas, na qual injeta-se um fluido (geralmente ar) na parte inferior vertical através de um orifício de diâmetro reduzido em relação ao diâmetro do leito (FRAILE; LESCANO, 2009).

Os secadores de tambor possuem maior eficiência energética e altas taxas de

secagem para alimentos que são muito grandes para secagem em spray dryer, como pastas e materiais úmidos (PARK *et al.*, 2007).

A secagem em tambor é utilizada nos mais diversos processos, como na produção de batata, melados purês de frutas, soros e até mesmo sólidos solúveis de destilação para formulação de ração. No entanto, o alto custo inicial dos equipamentos e dano pelo calor a alimentos sensíveis, causado pelas altas temperaturas empregadas no processo tem motivado uma mudança para secagem do tipo spray nos mais diversos alimentos desidratados em grande quantidade (PARK *et al.*, 2007)

Perusselo (2008) realizou um estudo para avaliar a transferência de calor e de massa durante a secagem do resíduo okara. O resíduo extrusado em forma de pellets foi submetido a duas etapas de processo. Na primeira etapa (com temperatura de 170, 150 e 130°C) foi desidratado em tubo pneumático, e na segunda etapa (com temperatura de 70, 60 e 50°C) foi seco em tambor rotativo em tempo suficiente até atingir um teor de umidade que evitasse a deterioração microbiológica e/ou enzimática no armazenamento. Tal experimento mostrou boa eficiência baseado no método de secagem proposto, obtendo-se assim, um produto com o teor de umidade, cor e formação desejada.

#### 2.2.2.2 Secadores tipo pneumático *flash dryer*

Os secadores pneumáticos têm sido amplamente utilizados para a remoção da umidade superficial de pós e sólidos granulados. As partículas úmidas são introduzidas em uma corrente gasosa; previamente aquecida; escoando em um tubo vertical no qual ocorrem, simultaneamente, a secagem e o transporte das partículas do ponto de alimentação até o sistema de coleta de produto seco (GERALDI, 2006).

Grizotto e Aguirre (2011) realizou a secagem do resíduo do leite de soja em secador pneumático flash dryer e concluiu que a secagem por este processo é viável tecnicamente, e que não houve alteração na composição química do resíduo.

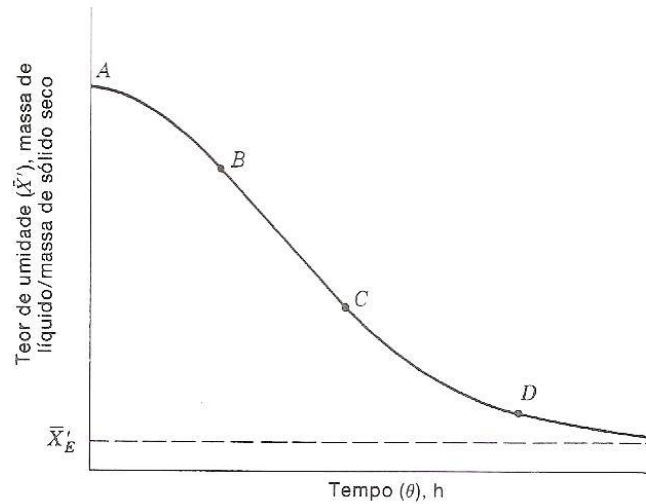
### 2.2.2.3 Secadores do tipo leito de jorro com inertes

Fraile e Lescano (2009) utilizando o secador do tipo leito de jorro com inertes determinaram as curvas de secagem do resíduo do leite de soja de diferentes experimentos, variando apenas a quantidade do material úmido e mantendo-se fixa a quantidade de material inerte. Para a elaboração das curvas de cinética de secagem as amostras foram retiradas a cada 6 minutos por meio de um amostrador, localizado na parte cilíndrica do leito. A temperatura foi mantida constante a 60 °C. Para este experimento constataram a taxa constante e a taxa decrescente da curva de secagem. O secador do tipo leito de jorro com inertes demonstrou desempenho adequado na secagem do okara.

Wachiraphansakul e Devahastin (2005) utilizando um secador tipo leito de jorro com inertes estudaram os parâmetros que afetam o processo de secagem do okara, como temperatura do ar de entrada (55°C, 60°C, 65°C, 90°C, 110°C, 130°C), velocidade do ar de entrada (0,55m/s e 0,65 m/s), altura do leito inicial (20 cm e 25 cm) além do tempo de aquecimento. Para os autores o parâmetro significativo foi a temperatura, pois houve o escurecimento da farinha mas não perdas significativas de proteína durante este processo.

## 2.3 CURVAS DE SECAGEM E TAXA DE SECAGEM

Segundo Foust *et al.* (1982), o comportamento de uma curva de secagem para um sólido úmido mediante a passagem de um fluxo gasoso a uma determinada temperatura é sempre o mesmo. A Figura 3 apresenta o aspecto característico da curva de secagem. O princípio do processo de secagem é representado pela diferença do conteúdo de umidade inicial do material e do conteúdo de umidade de equilíbrio (FOUST *et al.*, 1982).

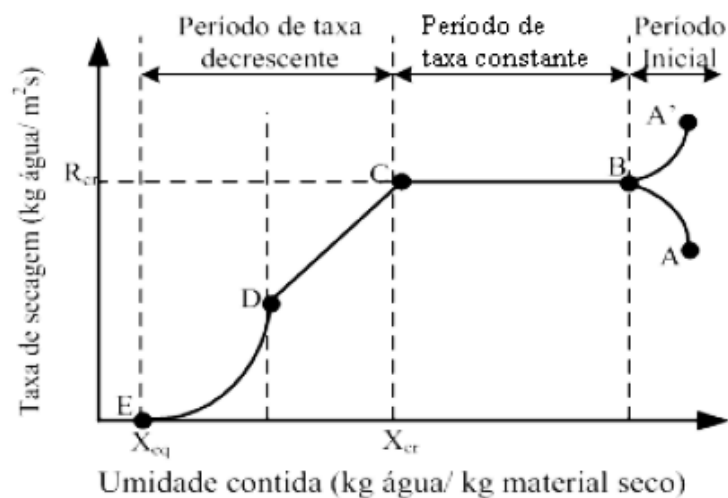


**Figura 3 – Curva típica de secagem**  
**Fonte: Foust et al. (1982)**

A curva de taxa de secagem é obtida derivando-se os dados da Figura 3. A Figura 4 representa a taxa de secagem em função do teor de umidade.

Menezes (2010) mostra os períodos da secagem em segmentos, representado na Figura 4 pelas letras A ou A', B, C, D e E, tais que:

- AB e A'B – período inicial
- BC – período de taxa constante
- CD – primeiro período de taxa decrescente
- DE – segundo período de taxa decrescente



**Figura 4 – Taxa de secagem em função da umidade**  
**Fonte: Menezes, 2010**

Segundo Foust *et al.* (1982), o período de secagem representado pelo segmento AB e A'B das curvas das Figuras 3 e 4 respectivamente é considerado um período em regime não permanente, durante a qual a temperatura do sólido atinge o seu valor de regime permanente.

O segmento BC corresponde ao período em que a superfície do sólido está saturada com água. Verifica-se também que a taxa de secagem permanece constante e há diminuição da umidade no sólido (FOUST *et al.*, 1982).

A partir do ponto C ocorre a migração interna de umidade no sólido, que passa então a controlar o processo de transferência de massa sendo dividido em primeiro período de taxa decrescente (segmento CD) e segundo período de taxa decrescente (segmento DE). Na primeira fase os mecanismos de transporte de água sugeridos são escoamento capilar, difusão de água líquida e difusão de vapor. Já a segunda fase de taxa decrescente (a partir do ponto D) o mecanismo predominante é a difusão, caracterizada pela migração de umidade do interior do sólido (FOUST *et al.*, 1982).

De um modo geral, denomina-se taxa de secagem como “velocidade” com que a secagem ocorre. Pode ser calculada pela derivada da Umidade em base seca em relação ao tempo (equação 1).

$$R = (-ms / A) \cdot (dX_{bs} / dt) \quad (01)$$

Onde:  $dX_{bs}/dt$  é a velocidade ou taxa de secagem ( $g/m^2 \cdot s$ );  $ms$  é a massa do material isento de umidade (g); e  $A$  é a área de superfície exposta a secagem ( $m^2$ ) (BOURSCHEIDT *et al.*, 2011).

A taxa também pode ser calculada pela diferença entre as umidades no intervalo considerado (Equação 2). A taxa será negativa porque há redução na massa da amostra (PARK *et al.*, 2007).

$$Taxa = dX / dt = \Delta X / \Delta t = (X_{n+1} - X_n) / (t_{n+1} - t_n) \quad (02)$$

A passagem do período constante para o período decrescente (Figura 5) é chamado de ponto crítico. A partir do período decrescente a resistência interna passa a predominar e a taxa de secagem diminui. Há diversos meios para tentar explicar o efeito de redução da taxa de secagem, entre elas a lei de difusão de Fick (PARK *et al.*, 2007).

A difusão é um fenômeno descrito quando um sistema tende a entrar em equilíbrio. Diversas são as leis e os modelos matemáticos com o objetivo de explicar tal comportamento e de forma em geral, prever tais comportamentos (PEDRON; MENDES, 2005).

A lei de Fick, que representa a difusão em estado estacionário, pode ser expressa de diferentes maneiras, mas de modo em geral, revela a facilidade com que uma determinada substância atravessa determinado meio (FOUST *et al.*, 1982).

A Equação 3 é a representação da Lei de Fick.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{ef} \cdot \nabla x) \quad (03)$$

Onde:  $D_{ef}$  o coeficiente de difusão da espécie e  $X$  a concentração.

Sáenz *et al.* (2012) propôs analisar o processo de secagem do bagaço de laranja utilizando um secador convectivo de ar aquecido com aplicação de radiação de infravermelho. O modelo matemático que melhor representou as variáveis do processo (temperatura do ar e tempo de aplicação da radiação infravermelha) foi uma adaptação da primeira Lei de Fick.

Quando não é possível prever o funcionamento da taxa de secagem devido a interferências causada pela resistência interna do material, aplicam-se os modelos empíricos como o modelo de Page (PIN; LESCANO, 2009). Para a determinação da razão de umidade do resíduo *okara* para as diferentes condições de secagem utiliza-se a equação 7 (Faria *et al.*, 2012).

$$X_{bs} = (M_{úmida} - M_0) / M_0 \quad (04)$$

Onde:  $X_{bs}$ : umidade em base seca (%);  $M_{úmida}$ : umidade de equilíbrio base seca (%);  $M_0$ : umidade inicial do produto base seca (%)

### 2.3.1 Modelos matemáticos existentes na literatura

O mecanismo através do qual ocorre a difusão da água nos produtos agrícolas é complexo devido à diversidade da composição química e estrutura física dos produtos. Para a predição deste mecanismo utilizam-se os modelos matemáticos, que podem ser empíricos, semi-empíricos e difusivos (LIMA *et al.*, 2003).

Diversos são os modelos matemáticos para prever o fenômeno de secagem em produtos agrícolas. Na Tabela 1 estão apresentados alguns dos modelos matemáticos utilizados nos ajustes das curvas de secagem para produtos agrícolas. Esses modelos matemáticos estão restritos às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos. Isso acontece porque levam em conta as variáveis externas como temperatura e a umidade relativa do ar e não fornecem indicações da transferência de energia e de água no interior do grão (RESENDE *et al.*, 2010).

**Tabela 1 – Modelos matemáticos encontrados na literatura**

Designação do modelo	Modelo
$RU = 1 + at + bt^2$	Wang e Singh
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k_1 \cdot t)$	Verna
$RU = \exp((-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}) / 2 \cdot b)$	Thompson
$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	Page
$RU = \exp(-k \cdot t)$	Newton
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	Midilli
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Logarítmico
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis
$RU = a \cdot \exp(-K_1 \cdot t)$	Dois termos
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	Aproximação da Difusão

Onde: RU – razão de umidade do produto, adimensional; k, k<sub>0</sub> e k<sub>1</sub> – constantes de secagem (em horas); a, b, c, n – coeficientes dos modelos; t- tempo de secagem (em horas).

Fonte: RESENDE *et al.*, (2010)



Pin e Lescano (2009) utilizaram o modelo de Page para o ajuste das curvas de secagem do *okara*, por um processo combinado de microondas-ar quente. Os parâmetros avaliados foram a vazão do ar, temperatura do ar e a potência do microondas. Os valores experimentais obtidos se adequaram muito bem do modelo proposto por eles.

Akpinar (2005) estudou o comportamento em camada fina de secagem de fatias de berinjela em um secador convectivo tipo ciclone. As temperaturas do ar (de 55, 65 e 75°C) e a velocidade do ar seco (1 e 1,5 ms<sup>-1</sup>) foram alternadas. A fim de verificar uma adequada curva de secagem foram ajustados oito diferentes modelos empíricos, dentre os quais o modelo Page melhor se adequou, com um coeficiente de correlação de 0,9999.

Doymaz e Pala (2003) também utilizaram o mesmo modelo para estimar as curvas de secagem de folhas de endro e salsa nas temperaturas de 40 a 70 °C obtendo valores de coeficientes de determinação superiores a 0,9897. Do mesmo modo, Bozkir (2006) na secagem de damasco nas temperaturas entre 35 e 50 °C encontrou coeficientes de correlação maiores que 0,98.

Costa *et al.* (2011) avaliou o coeficiente de difusão efetivo e a modelagem da secagem de sementes de crambe utilizando o modelo Wang e Singh, variando a temperatura (30, 40, 50, 60 e 70 °C) e a umidade relativa (37,4; 22,3; 14,0; 8,3 e 5%).

Os modelos de secagem em camada fina de Page, Henderson e Pabis e de Midilli *et al.*, (2002), foram ajustados às curvas de cinética de secagem das polpas de facheiro por Lima *et al.*, (2007). Os melhores valores para R<sup>2</sup> foi pelo ajuste do modelo de Midilli *et al.*, (2002). Nas temperaturas de 10, 20 e 30 °C o modelo de Darcy proporcionou menores desvios percentuais médios e a 40 °C o melhor modelo que se ajustou foi de Halsey.

Wachiraphansakul e Devahastin (2005) também realizaram um estudo com secador tipo leito de jorro com inertes, utilizando como parâmetro de avaliação a temperatura. Para a utilização do *okara* na alimentação animal foi utilizada a variação de temperatura de 90-130°C e para alimentação humana foi de 55-65 °C. Avaliou-se a interferência da temperatura nos atributos de qualidade (cor, nível de oxidação, atividade ureática e solubilidade em proteína), como também na cinética da curva de secagem.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E REAGENTES

A caracterização quanto à secagem do resíduo foi realizada no Laboratório de Processos Químicos, as análises físico-químicas no Laboratório de Alimentos e as análise microbiológicas no Laboratório de Microbiologia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo. A análise de fibras foi realizada no Laboratório de Qualidade de Alimentos (LQA), pertencente ao Grupo de Estudos e Manejo na Aquicultura (GEMAc), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Toledo.

#### 3.2 OBTENÇÃO DA AMOSTRA

A matéria-prima (*okara*) é um resíduo proveniente da produção de “leite de soja” fabricado pela Cozinha Social, localizada na cidade de Toledo (PR). A Cozinha Social fornece 15 mil merendas para 34 escolas municipais além de estar disponível também à população através dos restaurantes populares, com o objetivo de fornecer uma alimentação saudável. Dentro de sua instalação industrial existe uma mini usina de produção de leite de soja, o qual é destinado ao atendimento de pessoas com deficiências nutricionais, como idosos e crianças. Atualmente o resíduo (*okara* ou massa de grãos) produzido no processamento do leite de soja da Cozinha Social vem sendo descartado sem utilização específica.

O resíduo *okara* obtido na Cozinha Social foi acondicionado e armazenado em embalagens plásticas em temperatura de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de modo a evitar sua degradação até a realização da etapa de secagem. Para o acondicionamento da amostra após a etapa de secagem, a mesma foi armazenada em embalagens plásticas a vácuo e sua conservação foi em temperatura ambiente.

### 3.3 METODOLOGIA

#### 3.3.1 Obtenção dos Dados cinéticos da Curva de Secagem

A umidade inicial em base seca do resíduo *okara* em estufa foi calculada pela Equação 5. Esta análise consiste em colocar uma determinada massa de amostra em estufa na temperatura de 105 °C, por 24 h.

$$X_{bs} = M_{\text{água}} / M_{\text{seca}} = (M_{\text{úmida}} - M_{\text{seca}}) / M_{\text{seca}} \quad (05)$$

Onde:  $X_{bs}$  é a razão entre a massa do material úmido e a massa de sólido isenta desta umidade em um determinado tempo (MENEZES, 2010). Para a realização da secagem do *okara* utilizou-se um secador convectivo de bancada com fluxo transversal, da marca Eco Engenharia Educacional como visto abaixo na Figura 5.



Figura 5 - Módulo didático para experimento de secagem em túnel de vento. O módulo constitui-se de: 1 - Soprador de ar; 2- Psicrômetro; 3 - Sistema de aquecimento/resistências; 4- Balança semi-analítica e anemômetro; 5- Câmera de secagem.

A câmara de secagem contém uma bandeja, com área igual a  $0,01766 \text{ m}^2$  (Figura 6) e 1,0 mm de espessura. Tais informações são importantes para o cálculo da taxa de secagem conforme a Equação 1.



**Figura 6. Bandeja de alumínio**

As amostras foram submetidas à secagem, com uma velocidade de fluxo gasoso de 1,0 m/s, com temperatura de secagem variando entre 70, 80, 90 e 100°C. A velocidade do fluxo gasoso foi monitorada através de um anemômetro, durante todo o experimento e as temperaturas de bulbo úmido e de bulbo seco do ar ambiente foram medidas com o auxílio de um psicrômetro. A amostra foi acondicionada em uma bandeja de alumínio para o processo de secagem.

Durante o processo de secagem anotou-se a massa em certos intervalos de tempo. Nos primeiros 30 minutos, a amostra foi pesada num intervalo de 2 minutos, e em seguida, até 1 hora o intervalo de pesagem foi de cinco minutos e de uma hora à uma hora e meia de 10 minutos e depois o intervalo passou a ser de 15 minutos até massa constante conforme metodologia empregada por Menezes (2010).

### 3.3.2 Análises Microbiológicas

Foram realizadas as análises microbiológicas de contagem padrão de micro-organismos mesófilos aeróbicos estritos e facultativos viáveis (UFC/g ou mL), além

da determinação do número mais provável de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes (NMP/g), *Staphylococcus* Coagulase positiva, Bolores e Leveduras e *Salmonella* sp, de acordo com a metodologia descrita pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 1997).

A contagem de bactérias mesófilas foi realizada com a semeadura das diluições desejadas ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ) em placas de Petri com posterior adição do Agar padrão para contagem (PCA) previamente fundido e resfriado a 45 °C. Após a solidificação do meio de cultura, inverteu-se as placas e incubou-se a 35 °C por 48 horas.

Para a determinação de Bolores e Leveduras utilizou-se Agar dextrose batata (PDA) com incubação a 25 °C por 6 dias. O meio foi acidificado com ácido tartárico 10% a fim de obter pH igual a 3,5.

A análise de Coliformes totais consistiu na diluição da amostra em água peptonada com posterior diluição em caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) a 35 °C por 24 horas. Os tubos com produção de gás nos tubos de Durhan foram transferidos para tubos de Caldo Verde Brilhante Bile (VB) com incubação a 35 °C por 24 horas.

A análise de coliformes a 45°C é a mesma dos coliformes totais, mas restringe-se aos organismos capazes de fermentar a lactose em caldo E.C (*Escherichia coli*) a 45 °C em banho-maria com agitação por 24 horas.

A Contagem de *Staphylococcus aureus* baseou-se na diluição da amostra na superfície do Ágar Baird Parker, com inversão das placas a 35 °C por 48 horas.

A pesquisa de *Salmonella* sp foi realizada em quatro etapas: O pré-enriquecimento em caldo não seletivo (água peptonada), o enriquecimento em caldo seletivo (caldo selenito cistina e caldo rappaport- Vassiliadis), semeadura em meio seletivo diferencial (ágar entérico de Heckoen e agar sacarose lactose verde brilhante vermelho feno (BPLS)) e a confirmação (testes sorológicos).

### 3.3.3 Análises Físico-químicas

O resíduo *okara* foi caracterizado quanto ao teor de umidade (U), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (CZ) e fibra bruta (FB). Todas as análises foram realizadas em triplicata e de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz.

### 3.3.3.1 Determinação da umidade – Secagem direta em estufa a 105°C

O método se baseia no aquecimento da amostra em uma estufa com circulação e renovação de ar, na temperatura de 105 °C num período de 6 a 8 horas, ou até adquirir peso constante. Tal procedimento está baseado na metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985).

### 3.3.3.2 Determinação de proteína bruta

Foi determinada pelo método micro- Kjeldahl, de acordo com a metodologia Lutz (1985) utilizando um destilador de nitrogênio marca Tecnal, modelo TE-0363 e empregando 6,25 como fator de correção de nitrogênio/proteína para soja.

### 3.3.3.3 Determinação de Lipídeos ou Extrato Etéreo

Os lipídios foram determinados pela extração direta em aparelho extrator de óleos e graxas da marca MARCONI, utilizando-se éter de petróleo como solvente, segundo método do Instituto Adolfo Lutz (1985).

### 3.3.3.4 Determinação de Matéria Mineral (Cinzas)

O resíduo mineral fixo foi determinado por gravimetria, mediante incineração da amostra em forno mufla a 550 °C até a obtenção de cinzas claras, segundo método do Instituto Adolfo Lutz (1985).

### 3.3.3.5 Determinação de Fibra Bruta

Para determinação de fibra bruta a amostra foi submetida à digestão ácida com solução de ácido sulfúrico, seguida por digestão alcalina com hidróxido de sódio, segundo método de Lee *et al.* (1992).

### 3.3.4 Tratamento dos dados estatísticos

Para a determinação dos parâmetros  $R^2$ , K e n (regressão não linear) do método de Page (PARK *et al.*, 2007), foi utilizado o programa Statistica 8.0. Também foram ajustados os modelos matemáticos de Henderson e Pabis e Midilli (LIMA *et al.*, 2003), Newton e Lewis (MARQUES, 2009). Os modelos matemáticos ajustados apresentam-se na Tabela 2.

**Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados nas curvas de secagem**

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>
Page	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$
Newton e Lewis	$RU = \exp(-k \cdot t)$
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
Midilli	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

**Fonte: Resende *et al.*, (2010)**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CURVAS DE SECAGEM

As amostras foram secas em um secador túnel de vento (Figura 5) da Marca Engenharia Educacional, nas temperaturas de 70, 80, 90 e 100 °C com a velocidade fixa de ar em 1,0 m/s.

A Figura 7 representa a redução da massa de okara, expressa em gramas com relação ao tempo nas respectivas temperaturas.

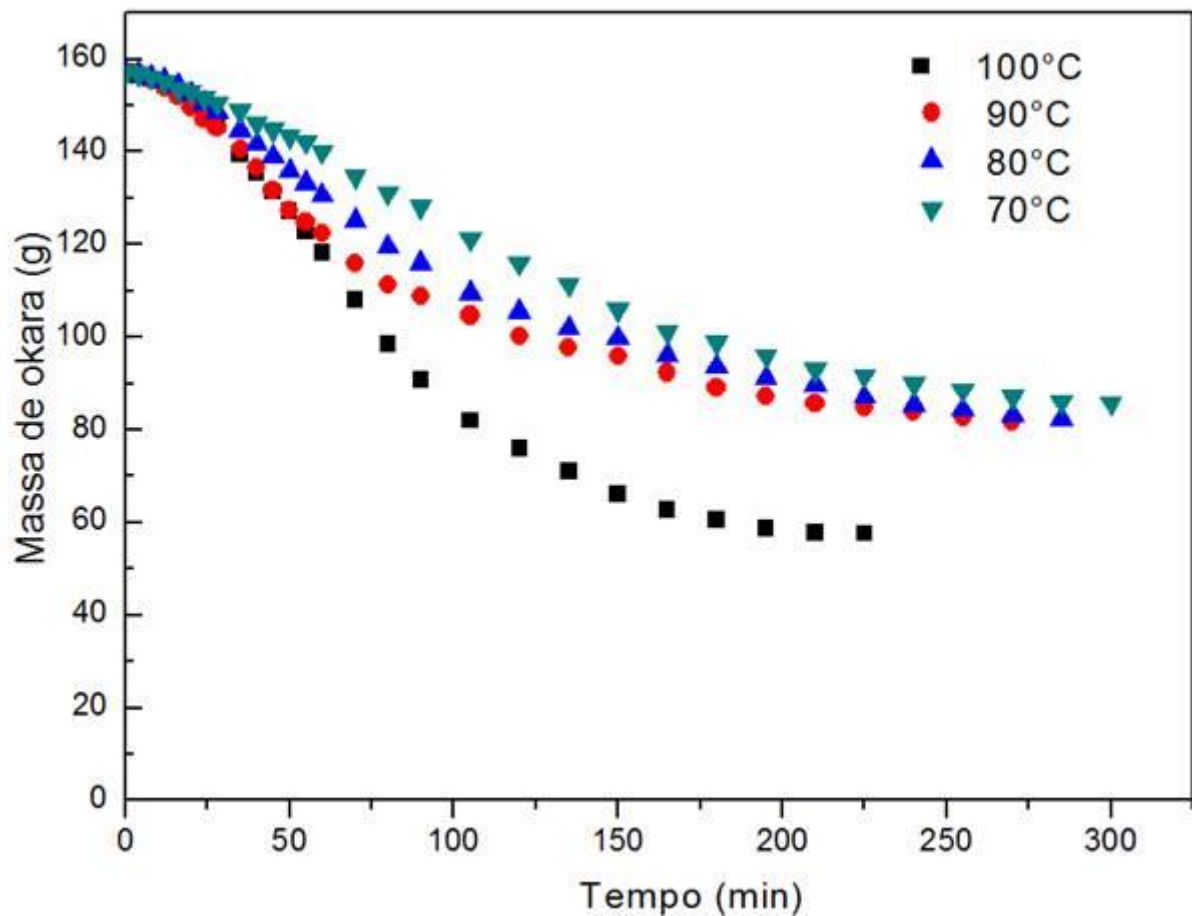


Figura 7 - Curva de secagem para o resíduo okara nas quatro temperaturas (100, 90, 80 e 70 °C) com velocidade de fluxo de ar de 1 m/s.



De acordo com a Figura 7, os tempos de secagem para as temperaturas de 100, 90, 80 e 70 °C foi respectivamente, de 225 minutos, 255 minutos, 270 minutos e 300 minutos.

Observando-se o tempo requerido para se obter a umidade de equilíbrio nas diversas temperaturas empregadas, verifica-se que entre a temperatura de 100 °C e de 90 °C a diferença é de apenas 30 minutos. Nota-se que o tempo gasto de secagem entre a maior e a menor temperatura empregada é de aproximadamente 2,05 horas, ou seja, o aumento da temperatura está inversamente relacionado ao tempo de secagem.

O aspecto visual do resíduo *okara in natura* e após a etapa de secagem nas respectivas temperaturas aplicadas se encontra na Figura 8 e 9 respectivamente.



**Figura 8 - Aspecto visual do resíduo *in natura*.**



(a)

(b)



**Figura 9 - Aspecto visual do resíduo *okara* após a secagem (a) na temperatura de 100°C. (b) na temperatura de 90°C. (c) na temperatura de 80°C. (d) na temperatura de 70°C.**

Ferreira e Pena (2010) estudando a secagem da casca do maracujá amarelo, verificaram que o aumento da temperatura ocasionou o escurecimento da amostra. Segundo os autores isto aconteceu pela maior exposição do produto à temperatura, sendo justificado esse escurecimento pela reação de Maillard, ou seja, ocorreu devido à presença de açúcares e proteínas no resíduo. Analisando a Figura 9, verifica-se que não houve variação significativa de cor e que o teor de proteína bruta não variou significativamente entre as temperaturas aplicadas.

Bourscheidt *et al.* (2011), utilizando o mesmo secador túnel de vento para estudar a secagem do bagaço de malte úmido com velocidade de ar de 1 m/s, obteve um tempo de secagem superior (495 minutos) para a temperatura de 70°C para um material com equivalente umidade inicial. Almeida *et al.* (2006) utilizando um secador de leito fixo gastou um total de 400 minutos na secagem de frutos de acerola para a mesma temperatura e Gouveia *et al.* (2003) estudando a secagem do frutos de cajá gastou 15 e 13 horas de secagem para as temperaturas de 70 e 80 °C respectivamente.

Conclui-se que embora o *okara* apresente alto teor de umidade inicial, o tempo de secagem gasto para obter a farinha de *okara* mostrou-se favorável ao ser comparado a outros autores e aos dados obtidos na literatura para material biológico.

## 4.2 TAXAS DE SECAGEM

Foram obtidas as taxas de secagem (Equação 01) das respectivas temperaturas com velocidade de fluxo do ar fixa em 1.0 m/s conforme mostra a Figura 10 para 100 °C, a Figura 11 para 90 °C, a Figura 12 para 80 °C e Figura 13 para 70 °C.

A fim de obter a curva suavizada utilizou-se o método de mínimos quadrados dinâmicos em janela para determinação da derivada primeira de um vetor para MATLAB (BOMBARDELLI, 2013). Este método ajusta os pontos experimentais obtidos, visualizando-se então a efetiva curva da taxa de secagem. A descrição do método aplicado encontra-se disposto no Anexo A.

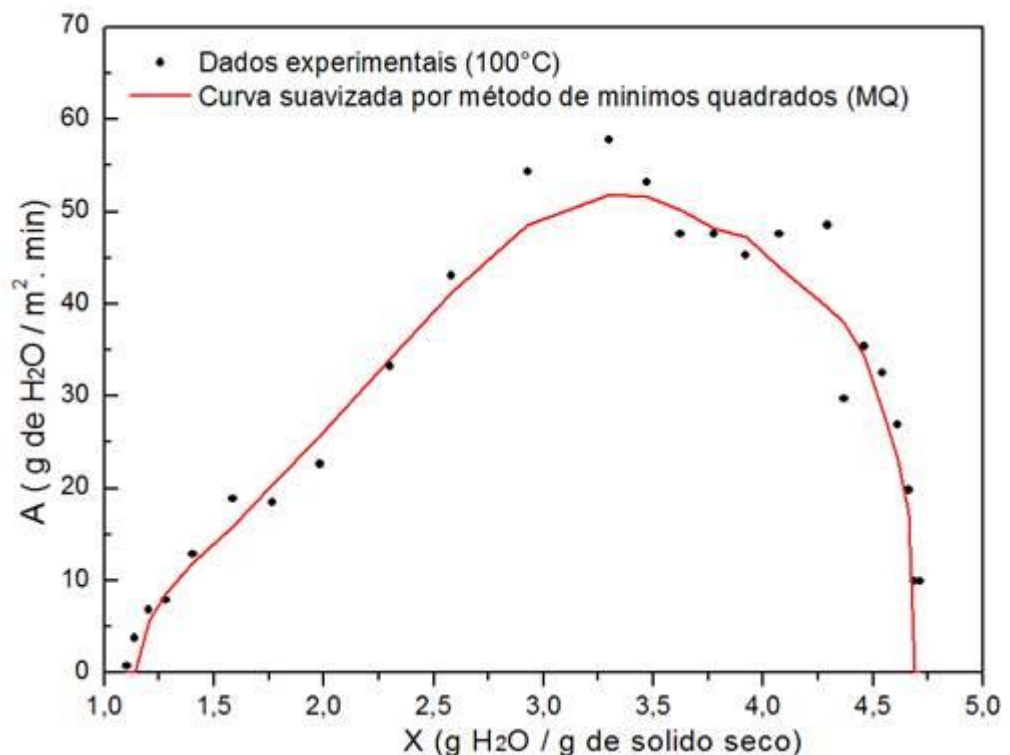


Figura 10 – Gráfico da taxa de secagem do resíduo *okara* (100 °C)

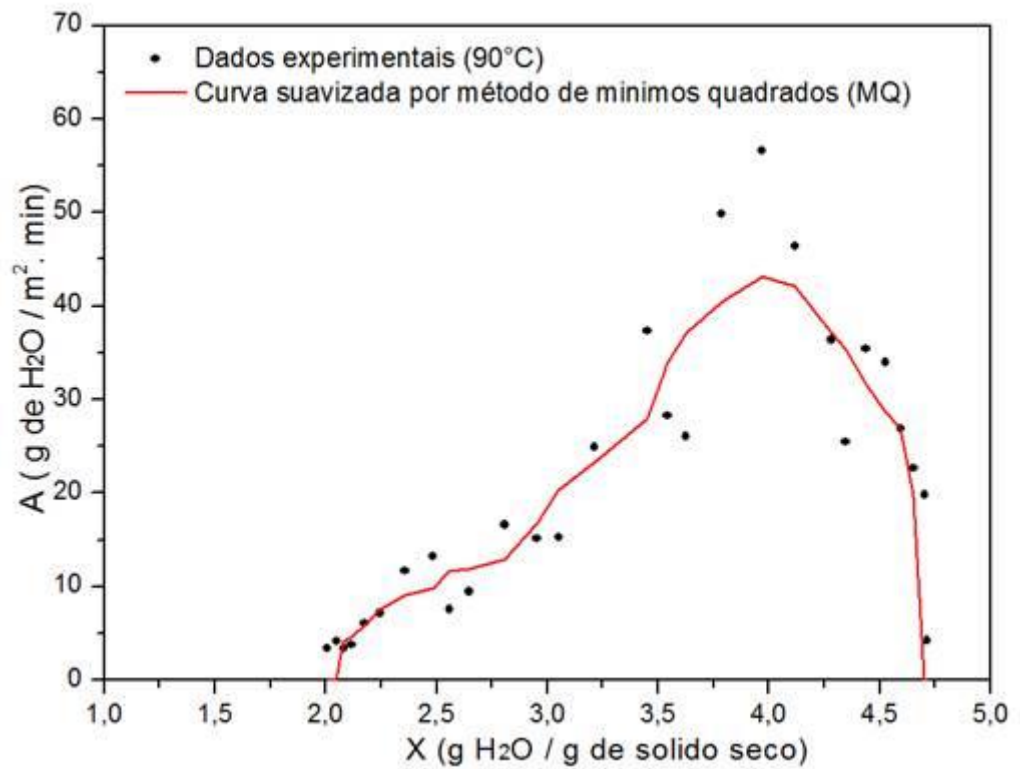


Figura 11 – Gráfico da taxa de secagem do resíduo *okara* (90 °C)

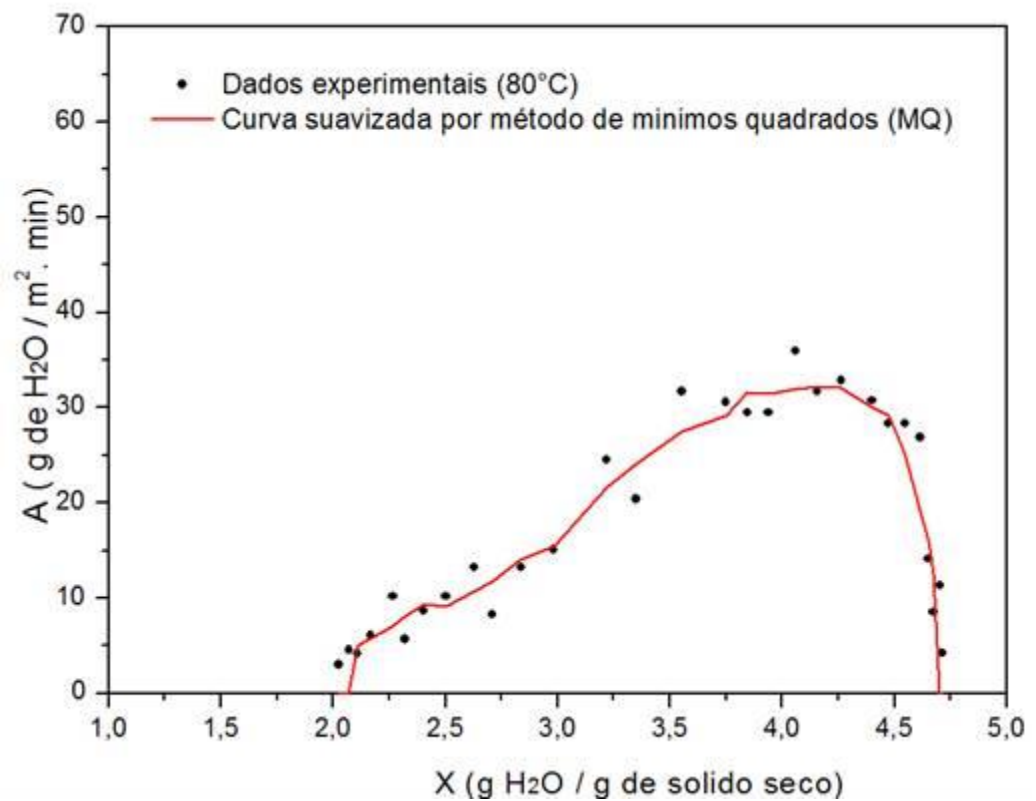


Figura 12 – Gráfico da taxa de secagem do resíduo *okara* (80 °C)

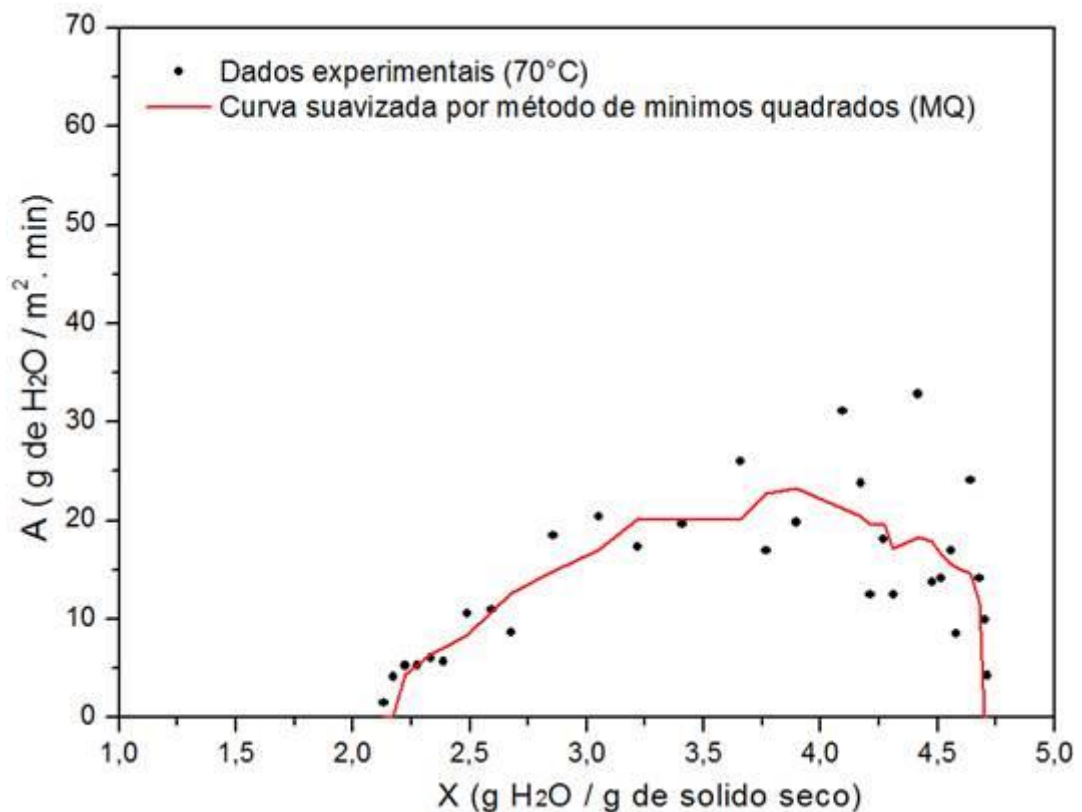


Figura 13 – Gráfico da taxa de secagem do resíduo okara (70 °C)

Avaliando-se as curvas da taxa de secagem nota-se a presença do período inicial (indução) e período de taxa decrescente. No início da secagem o produto é geralmente mais frio do que o ar, ou seja, a pressão parcial de vapor da água é deficiente na superfície do produto e como consequência, a transferência de massa e a velocidade de secagem também são deficientes.

Gouveia *et al.* (2003) utilizando as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de secagem de 1,0 e 1,5 m s<sup>-1</sup> na determinação da curva de secagem em frutos de cajá, verificaram que a cinética de secagem ocorre no período de taxa decrescente, sendo fortemente influenciada pela temperatura em relação à velocidade do ar do processo.

A partir do momento em que a transferência de calor chega a compensar exatamente a transferência de massa inicia-se a segunda etapa de secagem: o período da taxa constante.

O período da taxa constante não foi possível de ser constatado conforme Figuras 10, 11, 12 e 13. Este período se caracteriza pela constante migração de água do interior até a superfície do produto, acompanhando a perda por evaporação

de água na superfície (também constante). Conclui-se que embora os pontos obtidos experimentalmente encontram-se dispersos e bem diferentes da taxa de secagem descrito por Menezes (2010) na Figura 4 do item 2.3, a temperatura que teve maior taxa de secagem foi a de 100 °C.

Sabendo-se que a secagem está diretamente ligada a temperatura, percebe-se que a maior temperatura ocasionará uma maior taxa de secagem e conseqüentemente se obterá mais economia de tempo e energia para se atingir a umidade de equilíbrio quando comparado a temperaturas menores.

Zuchi (2012), estudando a taxa de secagem de frutos de mamona em secador estacionário na temperatura de 40, 60, 80 e 100 °C com fluxo de ar contínuo, concluiu que a temperatura de 100 °C, embora tenha reduzido o tempo de secagem em 0,75 horas em relação à temperatura de 80 °C, não se mostrou favorável no ponto de vista nutricional, pois segundo o autor, uma temperatura muito alta seria prejudicial à qualidade das sementes de mamona.

Perusselo (2008) analisou a okara extrusada em duas etapas de processo: desidratação em tudo pneumático até perda da adesividade superficial e secador em tambor rotativo até atingir teor de umidade desejado. O autor verificou que a melhor combinação em termos de tempo de processo e grau de escurecimento é na temperatura de 150 °C na primeira etapa e 70 °C na segunda etapa de processo.

Gouveia *et al.* (2003) verificou que não houve influência significativa da taxa de secagem com a variação da velocidade do ar em estudo realizado em frutos de cajá, sendo justificado a falta de taxa constante do produto pela dependência da difusão interna do cajá. O mesmo foi constatado por Almeida *et al.* (2006) na avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola.

Segundo Park *et al.*, (2007) é difícil a ocorrência desta taxa constante de secagem em materiais biológicos, visto que, as condições operacionais do processo acabam gerando resistências de transferências de massa que se encontram essencialmente no interior do produto. Tais resistências fazem com que a taxa de evaporação da superfície ao ambiente seja superior à taxa de reposição de umidade do interior à superfície do produto.

Devido a tais resistências internas e oscilações decorrentes do processo, é possível apenas a visualização de pontos dispersos. As oscilações decorrentes do processo ocorrem porque a variação da massa entre um ponto e outro é muito pequeno, além disso, a balança utilizada no processo é semianalítica.

Diante dos fatos expostos, os dados experimentais foram suavizados a fim de prever efetivamente o comportamento da taxa de secagem. Para isso utilizou-se o método de mínimos quadrados dinâmicos em janela para determinação da derivada primeira de um vetor para MATLAB (BOMBARDELLI, 2013).

As curvas de suavização para as quatro temperaturas empregadas estão dispostas na Figura 14.

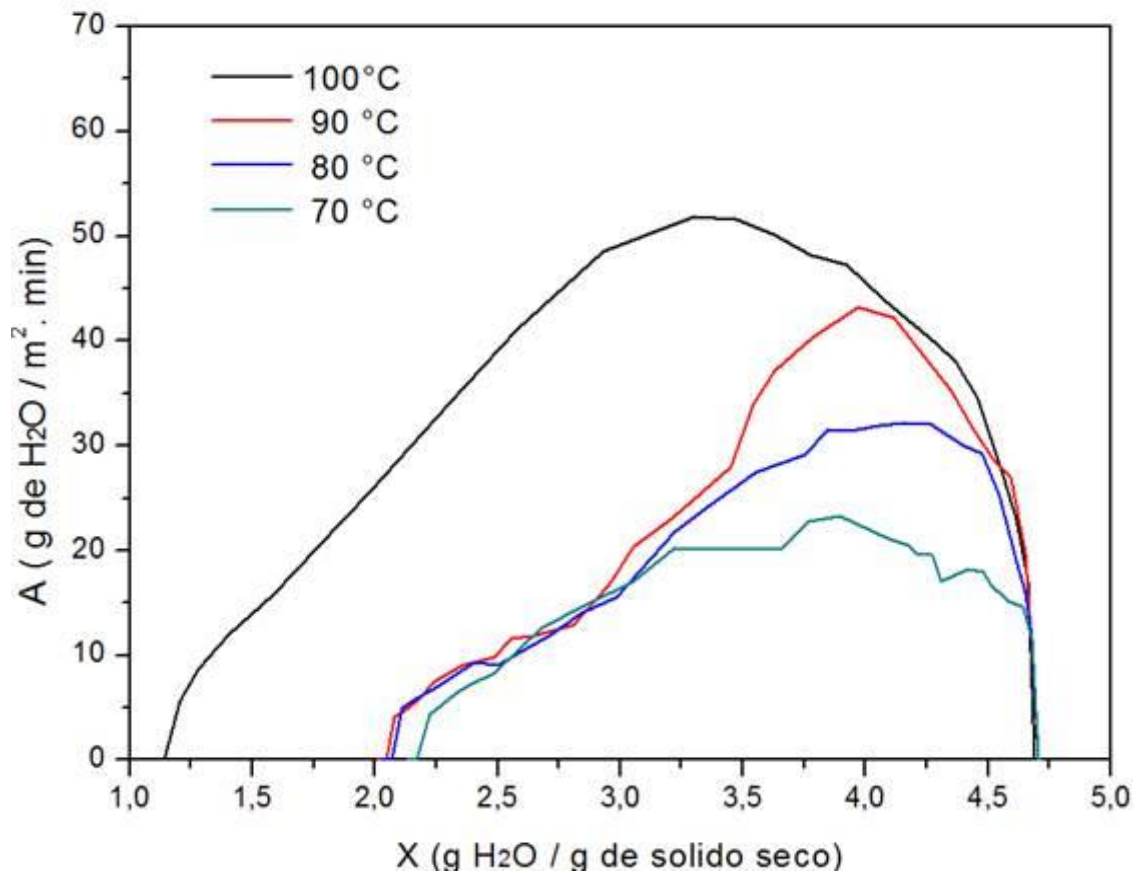


Figura 14 - Gráfico da taxa de secagem do resíduo *okara* com as curvas suavizadas utilizando o método de mínimos quadrados dinâmicos em janela para determinação da derivada primeira de um vetor para MATLAB.

Percebe-se que, com a suavização das taxas de secagem obtidas experimentalmente, há a presença do período de indução, taxa constante e taxa decrescente para temperatura de 80 °C. No entanto, verifica-se a necessidade de maiores estudos quando as interferências do processo de secagem com o secador túnel de vento a fim de obter resultados mais confiáveis e conclusivos.

### 4.3 AJUSTES EXPERIMENTAIS

Para a realização dos ajustes experimentais foi necessário relacionar a razão de água com o tempo nas quatro temperaturas empregadas. Tal relação encontra-se disposta na Figura 15.

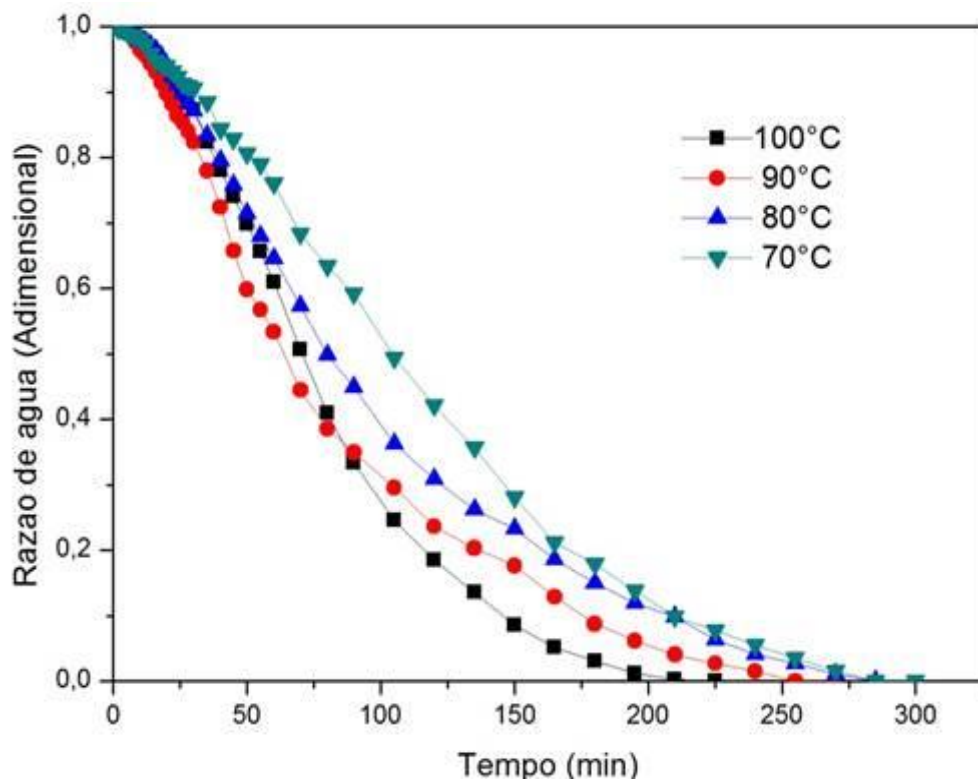


Figura 15 - Razão de água (adimensional) versus tempo (minutos)

Para as quatro temperaturas empregadas foram realizados os ajustes dos dados obtidos experimentalmente utilizando os modelos matemáticos descritos no item 3.3.5. Os ajustes foram realizados utilizando programa Statistica 8.0, através da regressão não linear pelo método de estimação Quase-Newton.

Os valores de  $R^2$ , além dos parâmetros  $k$ ,  $n$ ,  $a$  e  $b$  dos modelos matemáticos encontram-se dispostos na Tabela 3.

No modelo Midilli o valor da constante  $b$  para todas as temperaturas empregadas foi próxima de zero, sendo possível desprezar este valor. Para o



mesmo modelo percebe-se que o valor da constante “a” também é próxima de 1. Devido ao valor desprezível destas duas constantes, o modelo de Midilli se torna praticamente igual ao modelo de Page.

**Tabela 3. Valores dos parâmetros de secagem do okara nas temperaturas de 100, 90, 80 e 70 °C.**

<b>Modelo</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>k</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Page</b>	100	0,0005	-	-	1,6933	0,9996
	90	0,0021	-	-	1,3742	0,9983
	80	0,0012	-	-	1,4406	0,9990
	70	0,0005	-	-	1,5511	0,9992
<b>Newton e Lewis</b>	100	0,0006	-	-	-	0,9625
	90	0,0105	-	-	-	0,9854
	80	0,0085	-	-	-	0,9810
	70	0,0073	-	-	-	0,9723
<b>Henderson e Pabis</b>	100	0,0122	1,1354	-	-	0,9804
	90	0,022	1,1002	-	-	0,9941
	80	0,0100	1,1062	-	-	0,9922
	70	0,0085	1,1032	-	-	0,9839
<b>Midilli</b>	100	0,0006	1,0147	-0,0000	1,6441	0,9996
	90	0,0031	1,0267	-0,0000	1,2973	0,9987
	80	0,0016	1,0222	-0,0000	1,3686	0,9993
	70	0,0014	1,0204	-0,0005	1,2936	0,9983

Analisando-se a Tabela 3, verifica-se que os modelos que mais se ajustaram aos dados experimentais foram os modelos de Midilli e Page. Nota-se que das operações matemáticas empregadas nos dois modelos, o modelo de Page se apresenta de forma mais simples sendo, portanto, o modelo selecionado para melhor representar os dados obtidos experimentalmente. Semelhantemente este foi o modelo selecionado por Akpinar (2005) na secagem de fatias de berinjela em um secador convectivo tipo ciclone, Pin e Lescano (2009) na secagem do okara por um processo combinado de micro-ondas-ar quente, e Doymaz e Pala (2003) na

secagem de folhas de endro e salsa.

A temperatura 100 °C foi a que teve maior coeficiente de determinação ( $R^2=0,9996$ ) para o modelo selecionado. Para melhor visualização do modelo selecionado plotou-se um gráfico (Figura 16) com os valores observados e os valores ajustados em relação ao tempo nas temperaturas de 100, 90, 80 e 70 °C.

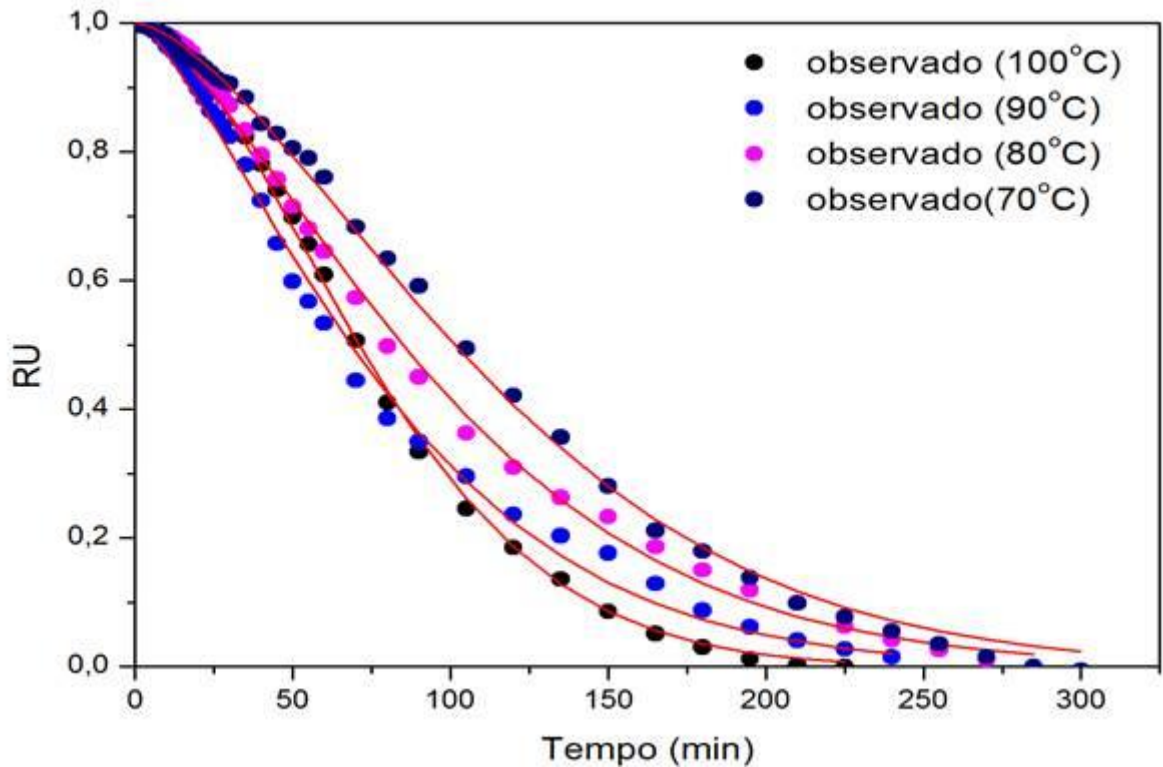


Figura 16 - Valores observados e ajustados pelo método de Page para as quatro temperaturas empregadas, onde RU é a razão de água (adimensional)

Segundo Misra e Brooker (1980), o parâmetro “k” representa o efeito das condições externas de secagem, enquanto que o parâmetro “n” representa a resistência interna do produto à secagem. Em todos os modelos avaliados, o valor de “k” é significativamente desprezível se comparado ao parâmetro “n”, demonstrando assim, que a secagem é um processo totalmente dependente da resistência interna do produto à secagem.

#### 4.4 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DO RESÍDUO *OKARA IN NATURA*

Após a retirada do resíduo na Cozinha Social este foi transportado imediatamente em recipiente adequado para a análise microbiológica. O lote correspondia à última extração do dia.

Os resultados das análises microbiológicas estão descritas na Tabela 4. Tais análises foram realizadas com o *okara in natura*. Devido à inexistência de um padrão desta categoria de produto alimentício, torna-se impossível a comparação com a legislação atual. No entanto, percebe-se que por apresentar alto teor de umidade o resíduo apresenta alto grau de deterioração visto que para a análise de coliformes totais os valores encontrados estão acima do permitido pela legislação a qualquer alimento.

**Tabela 4. Resultado das análises microbiológicas**

Análises microbiológicas realizadas	Resultados
Contagem padrão dos micro-organismos	$4,14 * 10^5$ UFC/g
Bolores	$2,0 * 10^3$ UFC/g
Leveduras	$5,4 * 10^3$ UFC/g
Coliformes Totais	> 1100 NMP/g
Coliformes a 45°C	> 1100 NMP/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	$< 1,0 * 10^1$ UFC/g
Pesquisa de <i>Salmonella sp</i>	Ausente em 25 g

A avaliação microbiológica da farinha de okara foi feita por Bowles e Demiate (2006). Os autores obtiveram resultados satisfatórios e dentro dos padrões exigidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária para as análises de coliformes totais (inferior a 10 UFC/g) e detecção de *Salmonella sp* (ausência da bactéria).

A Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001 da Agência de Vigilância Sanitária fiscaliza e determina que para tofu e similares os valores para Coliformes a 45°C, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella sp* sejam respectivamente  $10^2$  NMP/g,  $5*10^3$  UFC/g e ausência de *Salmonella sp* em 25 g de amostra. Para missô os

valores permitidos são  $10^2$  NMP/g,  $10^2$  UFC/g e ausência em 25 g de amostra respectivamente (ANVISA, 2001).

Devido à presença de Coliformes a 45°C percebe-se a necessidade de um rápido processamento do resíduo, visando assim à diminuição da carga bacteriana. O resíduo okara geralmente é utilizado na forma de farinha e dessa forma a carga bacteriana pós-secagem é bem menor do que a *in natura*.

#### 4.5 CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DO RESÍDUO OKARA *IN NATURA* E APÓS A ETAPA DE SECAGEM

Com relação à composição centesimal média do extrato aquoso, os valores obtidos podem ser verificados na Tabela 5.

**Tabela 5. Composição centesimal do okara *in natura* e após a etapa de secagem**

Parâmetros avaliados	Okara <i>in natura</i>	Okara seco			
		100 °C	90 °C	80°C	70°C
UM(%)	82,5 ± 0,15*	1,83 ± 0,16	1,83 ± 0,03	2,17 ± 0,10	3,6 ± 0,04
PB (%)	39,14 ± 0,17*	39,01 ± 0,39	38,7 ± 0,46	38,22 ± 0,52	37,19 ± 0,97
MM (%)	3,00 ± 0,13*	3,37 ± 0,02	3,31 ± 0,08	3,26 ± 0,08	3,22 ± 0,02
EE (%)	10,02 ± 0,21*	8,34 ± 0,29	8,35 ± 0,12	8,97 ± 0,17	8,99 ± 0,03
FB(%)	17,55	-	-	-	-
CHO (%)	30,29	49,28	49,64	49,55	50,6

**Notas:**

UM = umidade; PB = proteína bruta; MM = matéria mineral; EE = extrato etéreo; FB = fibra bruta; CHO = carboidratos.

\* Valores médios obtidos de três amostras aleatórias

\*\*Obtido por diferença.

Conforme a Tabela 5 obteve-se no resíduo *in natura*, 82,5% de umidade. A porcentagem média de seus componentes em base seca foi de 3,0% de matéria mineral, 10,02% de extrato etéreo, 39,14% de proteína bruta, 17,55% de fibra bruta e 30,29% de carboidratos.

Percebe-se que o resíduo apresenta um alto teor de umidade estando de acordo com o encontrado por Lescano (2004), de 80%. Diante de tal parâmetro é

necessário efetuar o processo de secagem, pois o produto *in natura* apresenta rápida deterioração por reações químicas e ação dos micro-organismos. A secagem de um produto também demonstra grande importância econômica, visto que o transporte e o armazenamento são etapas primordiais e possuem alto custo em um processo industrial.

A matéria mineral encontra-se abaixo dos valores obtidos por Cavalheiro *et al.* (2001), de 3,8% e próximo dos valores encontrados por Bowles e Demiate de 2,8%. Segundo estudo de Viera (1999) a variação do conteúdo de minerais nas diferentes qualidades de soja é influenciada pela cultivar, pelas condições de cultivos e aplicação de fertilizantes.

Outra justificativa é dada por Ciabotti (2004), na qual avaliou grãos, extratos e tofus de soja comum, comprovando que a composição centesimal dos minerais na soja comum é muito maior do que nos extratos e nos tofus. Tal variação segundo o autor se justifica pela provável migração dos minerais para a água no processo de maceração.

O conteúdo lipídico do subproduto apresenta-se abaixo do valor encontrado para Bowles e Demiate (2006), de 13% e para Aplevicz e Demiate (2007), de 17%, evidenciando-se assim, diferenças provenientes do processo de extração e variabilidade da soja. Cunha *et al.* (2007) obteve um teor de lipídeos superior (20,49%) a esses dois autores. O autor justifica tal variação devido a diferentes processos de obtenção do extrato aquoso de soja e conseqüentemente do próprio resíduo. A etapa de cozimento (tempo e temperatura) pode ocasionar uma maior ou menor extração de lipídeos.

O teor proteico está acima do valor encontrado na literatura, de 34,64% para Ruiz (1985) e de 37% para Bowles e Demiate (2006). Já para Aplevicz e Demiate (2007) o valor proteico do *okara* corresponde a 41,97%. Esta variação na composição química do resíduo do extrato de soja é justificada segundo Riet *et al.* (1989) por haver diferenças na solubilidade, extração e coagulação de proteínas a partir de diferentes variedades de soja.

Pinto e Castro (2008) encontraram diferenças significativas na avaliação do teor de proteínas (45,71%) se comparado com Cavalheiro *et al.* (2001) de 38% e de Cantuária *et al.* (2008) de 34,46%. Na simulação de laboratório realizada por esses autores, a água utilizada estava em temperatura ambiente, mas no processo industrial após o processo de trituração adiciona-se água a 90 °C. Segundo a

avaliação dos autores uma temperatura maior facilitaria uma extração maior de proteínas para o leite de soja, formando assim um resíduo com menor teor de proteínas.

O teor de fibras encontrado de 17,55% encontra-se próximo aos valores encontrados por Cavalheiro *et al.* (2001) de 16,15 e de Lupatini *et al.* (2011) de 17,45. No entanto, Aplevicz e Demiate (2007) e Cantuária *et al.* (2008) encontraram valores superiores de 30,20% e 30,93% respectivamente.

Segundo Daneluz e Cunha (2009), dentre as funcionalidades das fibras destacam-se o papel fisiológico na regulação da atividade intestinal, além de redução de doenças crônicas degenerativas, dos níveis de colesterol e triglicérides séricos. Para que um produto possa ser considerado como um alimento fonte de fibra segundo a Legislação brasileira precisa no mínimo ter 3% de fibra alimentar. São necessários maiores estudos sobre a transferência destes altos teores de fibras e proteínas para os produtos elaborados.

Na Tabela 5 observa-se também que a umidade pós-secagem é extremamente baixa. No entanto, tais valores são teóricos, pois à temperatura ambiente, a umidade da amostra tende a se equilibrar, ficando em torno de 12%, umidade essa obtida na saída dos secadores rotativos industriais segundo Cavichiolo (2010).

Os valores encontrados estão de acordo com o estudo realizado por Aplevicz e Demiate (2007). Na Tabela 6 encontram-se os dados referentes à caracterização nutricional deste estudo.

**Tabela 6 – Composição centesimal do okara dessecado.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Composição (%)</b>
Umidade (voláteis 105°C)	2,00 ± 0,13
Proteína bruta	41,97 ± 0,18
Extrato etéreo	17,01 ± 0,02
Fibra bruta	30,20, ± 1,06
Material mineral	3,90 ± 0,16
Carboidratos	35,15

**Fonte: APLEVICZ E DEMIATE (2007)**

Os valores nutricionais não alteram conforme a variação da temperatura visto que, apenas o que acontece é uma maior concentração de um parâmetro em relação a outro ou à amostra *in natura* devido à perda de água.

A percentagem média dos componentes em base seca para a farinha de trigo foi de 0,69 % de matéria mineral, 1,62 % de extrato etéreo, 13,53 % de proteína bruta, 0,24 % de fibra bruta e 84,16 % de carboidratos para Silva et al., (2009).

Observa-se que a farinha de okara apresenta conteúdo dos seus componentes nutricionais em quantidade superior se comparado à farinha de trigo. Assim, a adição da farinha de okara à formulação de alimentos como pães, biscoitos e outros alimentos se torna uma alternativa atrativa do ponto de vista nutricional, principalmente pelo acréscimo de fibras.

## 5 CONCLUSÃO

- A partir da avaliação microbiológica do resíduo okara verifica-se a necessidade de um rápido processamento do resíduo, visando assim à diminuição da carga bacteriana.
- A avaliação nutricional do okara *in natura* apresentou resultados satisfatórios. De acordo com os dados obtidos, o resíduo apresentou características nutricionais atrativas em relação ao teor de proteína (39,14%) e de fibras (17,55%).
- O processo de secagem do resíduo foi rápido se comparado ao descrito em literatura, obtendo-se uma secagem de 225 minutos para a maior temperatura (100 °C) e de 300 minutos para a menor temperatura (70 °C).
- Avaliando-se a taxa de secagem, a temperatura que apresentou melhores resultados foi a de 100°C, verificando-se que a temperatura está diretamente ligada a taxa de secagem, ou seja, quanto maior a temperatura mais rápida a amostra tende a alcançar a umidade de equilíbrio.
- Nos ajustes matemáticos o modelo de Page foi o que melhor ajustou-se possuindo coeficiente de correlação ( $R^2$ ) igual a 0,9996.
- Pela secagem obteve-se uma farinha de elevado teor proteico, mas que requer maiores estudos sobre a viabilidade econômica do processo se o objetivo for para usá-la como complemento para consumo humano ou animal.
- Também são necessários maiores estudos para verificar a influência da velocidade do ar sobre a taxa de secagem.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Cleandro A de; GOUVEIA, Josivanda, P.G de; ALMEIDA, Francisco, A.C; SILVA, Flávio, L.H da. **Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, p. 145-151, 2006.
- ALMEIDA UMEDA, N. P. B. **Desenvolvimento de barra de soja utilizando "OKARA"**.2003. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Faculdades Associadas de Uberaba, Uberaba, 2003.
- AKPINAR, Ebru. K. **Modelling of the drying of eggplants in thin-layers**. International journal of food science & technology .v. 40, n. 3. Mar 2005.
- APLEVICZ, Krischina. S; DEMIATE, Ivo. M. **Análises físico-químicas de pré-misturas de pães de queijo e produção de pães de queijo com adição de okara**. Ciênc. Agrotec., Lavras, v.31, n.5, p. 1416-1422, set./out., 2007.
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. **Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 10 de janeiro de 2001.
- BEHRENS, Jorge. H; SILVA, Maria. A. A. P; **Atitude do consumidor em relação á soja e produtos derivados**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas 431-439. jul.-set. 2004
- BICAS, Juliano. L; SILVA, Junior. C; DIONÍSIO, Ana Paula; PASTORE, Glaucia Maria. **Biotechnological production of bioflavors and functional sugars**. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos. vol.30 num.1. 0101-2061.2010.
- BOMBARDELLI, Clóvis. **Programa para ajuste por mínimos quadrados dinâmico em janela para a obtenção da derivada primeira para execução em MATLAB**. Trabalho não publicado. 2013.
- BOURSCHEIDT, C. T.; OLIVEIRA, B. H.; GOLÇALVES, G. da C.; SILVA, Gracinda Marina, C da. da S. **Estudo da secagem do bagaço de malte resíduo úmido obtido do processo industrial de cervejaria**. II Internacional Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste Management, Foz do Iguaçu, 2011
- BOZKIR, O.**Thin-layer during and mathematical modeling for washer dry apricots**. Journal of Food Engineering, Essex, v. 77, n.1, p. 146-151, 2006.
- BOWLES, Simone; DEMIATE, Ivo. M; **Caracterização físico-química de okara e aplicação em pães do tipo francês**. Ciênc. Technol. Aliment. Vol.26. n. 3. Campinas. July/Sept. 2006.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27/98 SVS/MS – **Regulamento Técnico Referente à Informação Nutricional Complementar**. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leiref/public/showAct.php?id=97#>>. Acesso em: 25 maio. 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Regulamentos técnicos de identidade e qualidade de leite e produtos lácteos**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento / Secretaria de Defesa Animal/ Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal/ Divisão de Normas Técnicas. Brasília, D.F. Série Regulamentação Técnica de Identidade e Qualidade de Produtos de Origem Animal; n.2, pag. 77. 1997.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.º 12, de 02 de jan. 01. **Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 10 de janeiro de 2001.

- CANTUÁRIA, Claudia, M de. RIBEIRO, Suezilde, da C. A; RIBEIRO, Carmelita, F.A; PARK, Kil, Jin; ARAÚJO, Eder Augusto. F. **Perfil sensorial de pães de forma enriquecidos com okara**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campo Grande, v.10, n. 2, p, 111-120, 2008.
- CAVALHEIRO, Silvia. F. L; TININIS, Cláudia Regina, C. S; TAVANO Olga Luísa; CUSTÓDIO, Marcos, F; ROSSI, Elizeu Antônio; CARDELLO Helena Maria. A. B. **Biscoito sabor chocolate com resíduo de soja, "okara": teste afetivo com crianças em idade pré-escolar**. Alimentos e Nutrição Araraquara, Vol. 12. N. 1. 2001.
- CAVICHIOLO, José Roberto. **Secagem do Bagaço de Laranja em Secador Tipo Flash**. Tese de Mestrado, (Engenharia Agrícola), FEAGRI – UNICAMP, Campinas. SP. (2010).
- COSTA, Lilian, M; RESENDE, Osvaldo; SOUZA, Kelly, A; GONÇALVES, Douglas, N. **Coefficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.10, p.1089–1096, 2011.
- CUNHA, Mário Antônio. A; PERIN, Cristiane; SANGALLI, Raquel; DIAS, Cristiane de A; BEUX, Simone. **Produção de biscoitos com subprodutos de soja (okara)**. Synergismus scyentifica. UTFPR, Pato Branco, 02 (1,2,3,4).2007.
- DOYMAZ; Ibrahim.; PALA, Mehmet. **The thin-layer drying characteristics of corn**. Journal of Food Engineering, Essex, v. 60, n. 2, p. 125-130, 2003.
- FARIA, Rute. Q; TEIXEIRA, Itamar. R; DEVILLA, Ivano, A; ASCHERI, Diego, P.R; RESENDE, Osvaldo. **Cinética de secagem de sementes de crambe**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande (PB). v.16, n.5, p.573–583, 2012.
- FERREIRA, Márcia de F.P; PENA, Rosinelson da S. **Estudo da secagem das casca do maracujá amarelo**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.12, n.1, p.15-28, 2010.
- FOUST, A.S. CLUMP, C.W; WENZEL, L.A. **Princípios das operações unitárias**. Rio de Janeiro, Guanabara. 1982. 670p.
- FRAILE, V. C. A. A. LESCOANO, S. C. S. R. **Determinação das curvas de secagem do resíduo do leite de soja em leito de jorro com inertes e da curva fluidodinâmica para o material inerte**. Laboratório de Fluidodinâmica e Secagem. Universidade Estadual de Campinas – LFS/FEQ. 2009.
- GERALDI, Claudinéia. A. Q. **Estudo da secagem de fécula de mandioca em secador do tipo pneumático: "Flash Dryer"**. Dissertação de mestrado. Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá. 2006.
- GOUVEIA, Josivanda, P. G; ALMEIDA, Francisco. A.C; FARIAS, Eliana da S; SILVA, Manassés, M da; CHAVES, Maria, C.V; REIS, Lígia, S. **Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. Campina Grande. n.1.p.65-68.2003.  
Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia1
- GRIZOTTO, Regina K; AGUIRRE, José M. **Estudo da secagem em flash dryer do resíduo - "okara" - resultante do processamento do leite de soja**. *Ciênc. Technol. Aliment.* [online]. vol.31, n.3, pp. 645-653. ISSN 0101-2061. 2011.
- HASLER, Claire.M. **Functional Foods: Their Role in Disease Prevention and Health Promotion**. Food Technology,v.52, n.11,1998.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (I.A.L). **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 44-45.
- JACKSON, C. J. C; DINI, J.P; LAVANDIER, C; RUPASINGHE, H.P.V; FAULKNER, H; POYSA, V; NUZZELL, D; DEGRANDIS, S. **Effects of processing on the content and composition of isoflavones during manufacturing of soy beverage and tofu**. Process Biochemistry, London, v. 37, p. 1117-1123, 2001.

KLAGENBOECH, Rafaeli. **Estudo da secagem da mistura de biomassa de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) e bagaço de malte resíduos da indústria cervejeira.** Trabalho de conclusão de curso (TCC). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Câmpus Toledo. 2012.

LEE, S.C; PROSKY, L; DEVRIES, .W. **Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in foods. Enzimatic-gravimetric method.** MES-TRIS buffer: Collaborative study. J. Assoc. Off. Chem. Int. v.75. p.395-416, 1992.

LEITE, Christiane. M. B. A; ZÉTOLA, Viviane. H. **A dietoterapia como prevenção na doença vascular encefálica.** Tese de pós-graduação de Medicina Interna pela Universidade Federal do Paraná. Curitiba. PR. 2000.

LESCANO, César Augusto, A. **Estudo da secagem e caracterização das partículas de okara produzidas em um secador de tambor rotativo.** 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2004.

LIMA, Laerte. A. SILVA, Joselito. B da ; LIMA, Antônio. G.B de. **Transferência de calor e massa durante a secagem de sólidos com forma arbitrária: uma abordagem concentrada.** Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.23, n.1, p.150-162, jan. 2003

LIMA, Laerte. A. SILVA, Joselito. B da ; LIMA, Antônio. G.B de. **Cinética de secagem de polpa de facheiro.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.9, n.1, p.17-28, 2007.

LUDVIGSSON, Jonas, F. LEFFLER, Daniel, A; BAI, Julio, C; BIAGI, Federico; FASANO, Alessio; GREEN, Peter, H.R; HADJIVASSILIOU, Marios; KAUKINEN, Katri; KELLY, Ciaran, P; LEONARD, Jonathan, N; LUNDIN, Knut, E.A; MURRAY, Joseph, A; SANDERS, David; WALKER, Marjorie, M; ZINGONE, Fabiana; CIACCI, Carolina. **The Oslo definitions for coeliac disease and related terms.** Gut Online First, published on February 16, 2012 as 10.1136/gutjnl-2011-301346.

MANDARINO, José M. G. **Trabalhador na transformação caseira de alimentos: soja.** Curitiba: SENAR – PR; Londrina: Embrapa-soja, 2004.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio Brasil 2012/2013 a 2022/2023.** Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf). Acesso em: junho. 2013.

MARQUES, Gutto, M. R. **Secagem de caldo de cana em leite de espuma e avaliação sensorial do produto.** 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

MENEZES, Maraísa, L. de. **Remoção do corante reativo azul 5G a partir de soluções aquosas utilizando o bagaço do maracujá amarelo como adsorvente.** 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. **New model for single-layer drying.** Drying Technology, v.20, p.1503-1513, 2002.

NAHÁS, Eliana, A. P. NETO, Jorge, N; LUCA, Laurival, A de; TRAIMAN, Paulo; PONTES, Anaglúria; DALBEN, Ivete. **Efeitos da isoflavona sobre os sintomas climatéricos e o perfil lipídico na mulher em menopausa.** Revista Brasileira de Ginecologia Obstetrícia. Vol. 25. n.5. Rio de Janeiro. Junho 2003.

PAIVA, Bolivar M; ALVES, Rosineila, M; HELENO, Nísia, M, **Aspectos socioeconômicos da soja.** In: Soja na alimentação humana. Informe Agropecuário. Belo Horizonte: EPAMIG, v. 27, n. 230, p. 7-14, jan/fev. 2006.

PARK, Kil. J; ANTONIO, Graziella, C; OLIVEIRA, Rafael, A; PARK, Kil, J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem.** Campinas, SP. Março. 2007.

PEDRON, Tamara. I. MENDES, Renio, Santos. **Difusão anômala e equações generalizadas de difusão**. Revista Brasileira de Ensino da Física. Vol. 27. n.2. São Paulo. Abril/Junho. 2005.

PERUSSELO, Camila. A. **Estudo dos parâmetros de processo e modelagem numérica da secagem do resíduo sólido da produção do extrato hidrossolúvel de soja (okara)**. RCAAP: Portugal 2008. Disponível em: <http://www.rcaap.pt/detail.jsp?locale=pt&id=urn:reporx.ibict.brall:oai:pucpr.br:981>. Acesso em: 5 de junho. 2012.

PIN, Janayna. B. B; LESCANO, César. A. A. **Análise do planejamento fatorial da secagem das partículas do resíduo de leite de soja “okara” em secador de cilindro rotativo assistido a micro-ondas**. Laboratório de Fluidodinâmica e Secagem. UNICAMP, Campinas, São Paulo, BRASIL. 2009.

PINTO, Drauton. D. J; CASTRO, Patrícia. S. **Estudo preliminar da secagem do okara (resíduo do extrato aquoso de soja) para inativação dos fatores antinutricionais e conservação**. Braz. J. Food Technol., VII BMCFB, dez. 2008.

RESENDE, Oswaldo; FERREIRA, Lênio, U; ALMEIDA, Dieimisson, P. **Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (Vigna angularis)**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.12, n.2, p.171-178, 2010.

RIBEIRO, Viviane. A. **Aproveitamento do resíduo do extrato de soja na elaboração de um produto tipo paçoca**. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 75p.2006.

SÁENZ, Carolina María. S; NASCIMENTO, Vânia, R. G; BIAGI, João, D; OLIVEIRA, R.A; PARK, Kil, J. **Consumo de energia e avaliação da cinética de secagem de bagaço de laranja**. XXIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. UNICAMP - Campinas-SP, Brasil. 2012.

SANTOS, C. G.P; MIGUEL, D.P; DUARTE, L.B. **Estudo de aceitabilidade de hambúrguer a base de “Okara” preparados na forma frita e assada**. VIII Jornada Científica da Fazu, Faculdades Associadas de Uberaba, Uberaba, MG, outubro, 2009.

SANTOS, José Walter dos; CABRAL, Luciano, S; ZERVOUDAKIS, Joanis, T; SOUZA, Alexandre, L; ABREU, Joadil,G; BAUER, Maristela, O; **Casca de soja em dietas para bovinos**. Revista Brasileira de Zootecnia: volume 37, número 11, páginas 2049-2055. Novembro. 2008.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos protéicos**. São Paulo: Varela, 1996. 517p.

STAUFFER, Clyde. E. **Soy protein in baking**. Technical Foods Consultants, ASA: (American Soybean Association): Cincinnati: 30 p.2002.

SILVA, Mara R; SILVA, Maria A. A. P; **Fatores antinutricionais: inibidores de proteases e lectinas**. Revista de Nutrição. vol.13. n.1 Campinas Jan./Apr. 2000.

SILVA, Leomar, H; PAUCAR-MENACHO, Luz. M; VICENTE, Claudia. A; SALLES, Antonio. S; STEEL; Caroline. J. **Desenvolvimento de pão de fôrma com a adição de farinha de “okara”**. Braz. J. Food Technol., v. 12, n. 4, p. 315-322, out./dez. 2009

WACHIRAPHANSAKUL, Sarat; DEVAHASTIN, Sakamon. **Drying kinetics and quality of Soy Residue (okara) Dried in a Jet Spouted-Bed Dryer**. Drying Technology, 23: 1229-1242, 2005.

WANG, Sin-Huei; BIET, Kelly, A. A; BARROS, Luciene, M; SOUZA, Natal. L. **Efeito da proporção soja:água e aquecimento sobre o rendimento e qualidade protéica do leite de soja**. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB). v.32. n.10. Outubro de 1997.

**ANEXO A – MÉTODO DE MÍNIMOS QUADRADOS DINÂMICOS EM JANELA PARA DETERMINAÇÃO DA DERIVADA PRIMEIRA DE UM VETOR PARA MATLAB (Clóvis Bombardelli, ago/2013)**

**% Ver. não temporal. Necessita de um vetor y dependente de x.**

**% Numero de pontos a considerar**

**N = 25;**

**load x100-25.mat**

**load y100-25.mat**

**%-----  
% resolução dos parâmetros de linearização (por enquanto usar tamanho de  
% janela fixo em m**

**F = zeros (N,1);           % F = função atenuada reconstituída**

**c = zeros (N,1);           % c = coeficiente linear**

**C = zeros (N,1);           % C = função derivada**

**d = zeros (N,1);           % d = coeficiente angular**

**m = 5;                    % m = tamanho da janela (fixo, 3, 5, 7 ou 9)**

**l = round(m/2) ;           % l = ponto central da janela**

**% construção da matriz dos coeficientes**

**for i = l:1:N-l+1  
    n = i-l+1**

**A = [ 0, 0 ; 0, 0];  
Y = [0, 0];            % matriz Somatória y e Somatória i\*y**

**for k = 1:1:m            % fazer a matriz coef para a ext do bloco.**

**A = [ m    A(1,2)+x(n)  
      A(1,2)+x(n) A(2,2)+x(n)\*x(n) ]'**

**Y = [ Y(1,1)+y(n) Y(1,2)+x(n)\*y(n)]    % Matriz Y (1x2)**

**n = n+1  
end**

**% Calculo dos coeficientes a,b**

**X = inv(A)\*Y'**

```
% inclinação da tendência

d(i,:)= X(1,1);      % coeficiente linear (100)
c(i,:)= X(2,1);      % coeficiente angular (20)

F(i) = x(i)*c(i)+ d(i)

end

% -----
% Apresentação grafica

i = 1:1:N;

%subplot(2,1,1)
plot(x(i), y(i), 'g', x(i), F, 'r');

%subplot(2,1,2)
%plot(x(i), F, 'r')

%xlabel('x'); ylabel('Sinal') ;
%title('sinal com ruidos');

%-----
```