



GERSON REGINALDO MARQUES

**SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE POLPA DE
MILHO VERDE (*Zea mays* L.)**

LAVRAS – MG

2012

GERSON REGINALDO MARQUES

**SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE POLPA DE MILHO VERDE (*Zea
mays* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Soraia Vilela Borges

Coorientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Côrrea

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Marques, Gerson Reginaldo.

Secagem por atomização de polpa de milho verde (*Zea mays* L.)
/ Gerson Reginaldo Marques – Lavras: UFLA, 2012.
138 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Soraia Vilela Borges.

Bibliografia.

1. Vegetal. 2. Processos. 3. *Spray drying*. 4. Reologia. 5.
Isoterma de sorção. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.725

GERSON REGINALDO MARQUES

**SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE POLPA DE MILHO VERDE (*Zea
mays* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2012.

Dra. Lanamar de Almeida Carlos	UFSJ
Dr. Jaime Vilela de Resende	UFLA
Dra. Ellem Waleska N. F. Contado	UFLA

Dra. Soraia Vilela Borges
Orientadora

Dr. Jefferson Luiz Gomes Côrrea
Coorientador

LAVRAS - MG

2012

*Aos meus pais, Geraldo e Maria, pelo
amor e incentivo na busca de mais este sonho.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que Ele fez e por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, ao Departamento de Ciência dos Alimentos e à Universidade Federal de Lavras.

À professora Soraia, pela amizade e empenho como orientadora, pelas sugestões e por toda a compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pelo apoio e pela grande oportunidade que me foi concedida.

Aos demais professores, funcionários, sem exceção, que de alguma forma participaram desta caminhada.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões apresentadas a este trabalho.

Aos meus familiares, pelo apoio, incentivo, amizade e alegria compartilhada.

Aos técnicos dos Laboratórios, em especial Cleusa, Tales e Tina, pela amizade e contribuição.

Aos amigos Ariel, Camila, Diego, Eric, Evandro, Fabiano, Heloisa, Jéssica, Joyce, Karina, Patrícia e Poliana, pela amizade, apoio e ajuda.

Ao CNPq, pela concessão de bolsas de estudos e à Fapemig, pelo financiamento desta pesquisa.

A todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O milho verde é um dos alimentos tradicionais e consumidos na dieta brasileira, mas é sazonal e perecível, podendo ser desidratado para aumentar sua vida útil. Dentre os diferentes métodos de secagem, o secador por atomização *spray drying* é o mais comumente utilizado na indústria, por ser econômico flexível e contínuo. Este trabalho foi realizado com os objetivos de verificar a influência das condições operacionais do secador e da alimentação sobre as propriedades químicas, físicas e microestruturais da polpa de milho verde em pó e avaliar o efeito, sobre a composição química e as propriedades reológicas e de sorção em condições otimizadas de secagem. Os ensaios de secagem foram realizados utilizando-se um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), para estudar a influência das seguintes variáveis independentes: temperatura do ar de secagem (143 °C a 177 °C), vazão de alimentação (0,45 a 0,95 L/h⁻¹) e concentração de polpa (37% a 53% p/p). O rendimento para polpa de milho verde em pó foi baixo, obtendo-se valor médio de 36,19%. As propriedades de reconstituição do pó mostraram valor médio para solubilidade de 94,37 g/100g, umidade de 1,97% e atividade de água de 0,13, os quais podem facilitar seu armazenamento e transporte. O diâmetro de partícula do pó apresentou valor médio de 31,02 µm, com predominância de superfícies rugosas na morfologia das partículas; densidade de 0,79 g/mL e molhabilidade de 128,05 segundos, o que proporciona uma boa propriedade de instantaneização. As condições de secagem por atomização não afetaram a cor de polpa de milho verde em pó, que apresentou tonalidade próxima ao amarelo e com menor grau de intensidade. Nas condições previamente otimizadas na secagem por atomização, concentração de alimentação 1:1 (% p/p), temperatura do ar 150 °C e vazão de alimentação 0,85 L.h⁻¹, observaram-se degradação no amido, proteínas e lipídeos; aumento da concentração em demais nutrientes e uma aparência de aspecto fosco no parâmetro cor. O modelo de Casson foi o que melhor se ajustou aos dados reológicos; a polpa de milho *in natura* ou pó reconstituído apresentou comportamento pseudoplástico e a concentração 17,5 e 20% de polpa de milho verde reconstituído em pó resultou em maiores valores de viscosidade. A isoterma a 25 °C é do tipo sigmoidal, apresentando melhor ajuste para o modelo de Peleg.

Palavras-chave: Vegetal. Processos. *Spray drying*. Reologia. Isotermas de sorção.

ABSTRACT

Green corn is one of the traditional foods and consumed in Brazilian diet, but it is seasonal and perishable, but it can be dehydrated to increase its useful lifetime. Among the different drying methods, the *spray drying* atomization dryer is the most commonly utilized in the industry for being economical, flexible and continuous. This work was conducted with the purposes of verifying the influence of the operational conditions of the dryer and of the feeding upon the chemical, physical and microstructural properties of the green corn pulp powder and verifying the effect, on the chemical composition and the rheological and sorption properties under optimized drying conditions. The drying assays were undertaken by utilizing a response surface methodology (RSM) to study the influence of the following independent variables: temperature of the drying air (143 °C to 177 °C), feed flow rate (0.45 to 0.95 L/h⁻¹) and pulp concentration (37% to 53% w/w). The green corn pulp powder output was poor, an average value of 36.19% being reached. The properties of powder reconstitution showed average value for solubility of 94.37 g/100g, moisture of 1.97% and water activity of 0.13, which can make both its storage and transportation easier. The diameter of the powder particle presented an average value of 31.02 μm, predominating rough surfaces; density of 0.79 g/mL and wettability of 128.05 seconds, in particle morphology. The atomization drying conditions did not affect the color of the green corn pulp powder, which presented hue close to the yellow and with poorer intensity degree. Under the previously optimized conditions in the atomization drying, the feeding concentration 1:1 (% w/w), air temperature of 150 °C and feed flow rate 0.85 L.h⁻¹, degradation of starch, proteins and lipids; increased concentration in the other nutrients and increased intensity for the white in the parameter chroma were found. The Casson model was the one which best adjusted to the rheological data; the corn pulp either *in natura* or in reconstituted powder presented pseudoplastic behavior and the concentration 17.5 and 20% of reconstituted green corn pulp powder resulted into higher values of consistence and viscosity. Isotherm at 25 °C is of the sigmoid type, presenting best adjustment to the Peleg model.

Keywords: Plant. Processes. *Spray drying*. Rheology. Sorption isotherms.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1	Classificação geral dos fluidos	25
Figura 2	Curva típica de secagem	29
Figura 3	Esquema de secagem por atomização.....	31
Figura 4	Representação das regiões das isotermas.....	39

CAPÍTULO 2

Figura 1	Fluxograma do processamento das espigas de milho verde	62
Figura 2	Imagens morfológicas de polpa de milho verde em pó produzidas nas condições: (a) 50 % p/p, 170°C, 0,85 L.h ⁻¹ ; (b) 50 % p/p, 170°C, 0,55 L.h ⁻¹ (c) 50 % p/p, 150°C, 0,55 L.h ⁻¹ (d) 45 % p/p, 160°C, 0,70 L.h ⁻¹	99

CAPÍTULO 3

Figura 1	Fluxograma do processamento das espigas de milho verde	113
----------	--	-----

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 2

Gráfico 1	Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para o rendimento.....	70
Gráfico 2	Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para umidade.....	74
Gráfico 3	Superfície de resposta de polpa de milho verde em pó para atividade de água.....	78
Gráfico 4	Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para molhabilidade.....	81
Gráfico 5	Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para solubilidade.....	85
Gráfico 6	Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para densidade.....	88
Gráfico 7	Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para ângulo h°	91
Gráfico 8	Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para índice C^*	94
Gráfico 9	Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para tamanho de partícula $D_{50} \mu\text{m}$	97

CAPÍTULO 3

Gráfico 1	Reograma para polpa de milho verde e do pó reconstituído, em diferentes concentrações.....	123
Gráfico 2	Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação de concentrações de polpa de milho verde.....	126
Gráfico 3	Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação de concentrações de polpa de milho verde reconstituído em pó.....	127
Gráfico 4	Isoterma de adsorção a 25°C , de polpa de milho verde reconstituído em pó, ajustada pelo modelo de Peleg.....	131

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Planejamento experimental (DCCR) de secagem em <i>spray drying</i> ..	60
Tabela 2	Características físicas e químicas de polpa de milho verde em pó, obtida da secagem por atomização	67
Tabela 3	Coefficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para o rendimento	68
Tabela 4	Coefficientes de regressão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para umidade.....	72
Tabela 5	Coefficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para atividade de água.....	76
Tabela 6	Coefficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para molhabilidade.....	79
Tabela 7	Coefficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para solubilidade.....	83
Tabela 8	Coefficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para densidade.....	86
Tabela 9	Coefficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para ângulo h°	89
Tabela 10	Coefficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para índice C^*	92
Tabela 11	Coefficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para tamanho de partícula $D50 \mu\text{m}$	95

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Atividade de água das soluções saturadas de sais.....	119
Tabela 2	Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água.....	120
Tabela 3	Sumário das características químicas e físicas de polpa de milho verde e do pó reconstituído (g/100g b.s).....	121

Tabela 4	Parâmetros reológicos obtidos dos modelos para a polpa de milho verde em função das concentrações	124
Tabela 5	Parâmetros reológicos obtidos dos modelos para a polpa de milho verde reconstituído em pó em função das concentrações	125
Tabela 6	Parâmetros de ajuste dos modelos e coeficiente de determinação (R^2).....	128
Tabela 7	Valores experimentais e teóricos da umidade de equilíbrio (% b.s.) e erros relativos (ER) dos modelos ajustados	130

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

Quadro 1	Vantagens e desvantagens do uso da técnica de secagem por atomização	34
Quadro 2	Agentes encapsulantes usados para alimentos	37

CAPÍTULO 2

Quadro 1	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o rendimento	69
Quadro 2	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para umidade	73
Quadro 3	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água	77
Quadro 4	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para molhabilidade	80
Quadro 5	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para solubilidade	84
Quadro 6	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para densidade	87
Quadro 7	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para ângulo h°	90
Quadro 8	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para índice C^*	93
Quadro 9	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para tamanho de partícula $D_{50} \mu m$	96

SUMÁRIO

	CAPITULO 1 Introdução geral	15
1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	O Milho	18
2.1.1	Fisiologia da cultura do milho	19
2.1.2	Composição química do milho verde	20
2.1.3	Comercialização do milho verde	21
2.1.4	Armazenamento	21
2.2	Reologia	23
2.2.1	Comportamento reológico	24
2.3	Secagem	27
2.3.1	Secagem por atomização ou <i>spray drying</i>	30
2.3.2	Alterações provocadas pela secagem	34
2.3.3	Coadjuvantes de secagem	36
2.3.4	Isotermas de sorção	37
	REFERÊNCIAS	41
	CAPÍTULO 2 Influência do processo de secagem por atomização sobre o rendimento e as propriedades físicas de polpa de milho verde em pó	54
1	INTRODUÇÃO	57
2	MATERIAL E MÉTODOS	59
2.1	Planejamento experimental	59
2.2	Processamento das espigas de milho verde	61
2.3	Secagem por atomização ou <i>spray drying</i>	62
2.4	Métodos analíticos	63
2.4.1	Umidade	63
2.4.2	Atividade de água	63
2.4.3	Molhabilidade	63
2.4.4	Solubilidade	64
2.4.5	Densidade	64
2.4.6	Cor	64
2.4.7	Tamanho de partícula	65
2.4.8	Microscopia	65
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
3.1	Rendimento	68
3.2	Umidade	71
3.3	Atividade de água	76
3.4	Molhabilidade	79
3.5	Solubilidade	83

3.6	Densidade	86
3.7	Cor	88
3.8	Tamanho de partícula	95
3.9	Morfologia das partículas	98
4	CONCLUSÕES.....	100
	REFERÊNCIAS.....	101
	CAPÍTULO 3 Avaliação química, física, reologica e isotermas de sorção de polpa de milho verde reconstituído em pó.....	107
1	INTRODUÇÃO	110
2	MATERIAL E MÉTODOS	112
2.1	Preparo da matéria-prima	112
2.2	Secagem por atomização ou <i>spray drying</i>	113
2.3	Métodos analíticos	114
2.3.1	Amido.....	114
2.3.2	Açúcares redutores em glicose e não redutores em sacarose e totais.....	114
2.3.3	pH.....	114
2.3.4	Acidez total titulável.....	115
2.3.5	Sólidos solúveis (°Brix).....	115
2.3.6	Atividade de água	115
2.3.7	Cor	115
2.3.8	Umidade.....	116
2.3.9	Cinzas.....	116
2.3.10	Extrato etéreo.....	116
2.3.11	Proteínas.....	116
2.3.12	Carboidrato.....	117
2.3.13	Reologia	117
2.4	Isotermas de sorção de polpa de milho verde reconstituído em pó	118
2.4.1	Umidade de equilíbrio.....	119
2.4.2	Modelos matemáticos	119
2.4.3	Erro experimental.....	120
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	121
3.1	Características químicas e físicas de polpa de milho verde e do pó reconstituído	121
3.2	Reologia	123
3.3	Isotermas de sorção	128
4	CONCLUSÃO.....	132
	REFERÊNCIAS.....	133

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é cultivado em todo o território brasileiro, destacando-se das demais produções de grãos por ocupar uma das maiores áreas cultivadas do país. Em 2011, segundo a COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB), o Brasil produziu 55,02 milhões de toneladas de milho, somadas 33,06 milhões de toneladas da primeira safra e 21,96 milhões de toneladas da segunda safra, sendo que grande parte da área plantada é ocupada com milho destinado à produção de grãos.

O milho verde para consumo desperta interesse do produtor, principalmente em algumas regiões próximas aos grandes centros consumidores. Esse interesse se deve ao fato de este produto apresentar demanda durante todo o ano e proporcionar condição de renda aos produtores. A fim de satisfazer os requisitos do mercado, a utilização do milho *in natura* regionalmente adaptado torna-se essencial.

Em função de sua alta perecibilidade, a colheita e a comercialização do milho *in natura* devem ser eficientes, pois o produto é colhido imediatamente após a fase de grãos leitosos, com um alto teor de água, cerca de 70% a 80% de umidade em média. O processo de secagem dos grãos com alto teor de água pode ser usado a fim de viabilizar tanto a sua conservação, como a sua comercialização.

Nos últimos anos, pode-se observar como a indústria de alimentos se desenvolveu, tornando-se essencial para a produção de produtos em pó, que são estáveis e podem ser utilizados como alimentos ou produtos farmacêuticos, o que representa um mercado promissor.

Todavia, o processamento em escala industrial requer informações indispensáveis sobre as propriedades físicas, químicas e reológicas do milho verde. Assim, a secagem por atomização (*spray drying*) passa a ser o método

mais conveniente e de melhor rendimento para a secagem de líquidos (uma solução, dispersão ou pasta). Este processo permite armazenamento prolongado, maior estabilidade e longevidade do produto, podendo o consumidor acessá-lo com boa qualidade nutritiva e microbiológica.

A estabilidade dos alimentos em pó é um parâmetro importante a ser avaliado e pode ser obtida por meio da atividade de água (a_w). As isotermas de sorção são curvas que mostram a relação entre o teor de água presente em um material e a sua disponibilidade. Dessa forma, são ferramentas importantes na análise e no desenvolvimento de processos alimentares, tais como preservação, secagem e embalagem.

O presente trabalho foi realizado com os objetivos de verificar a influência das condições operacionais do secador e da alimentação sobre as propriedades químicas, físicas e microestruturais da polpa de milho verde em pó e avaliar o efeito, sobre a composição química e as propriedades reológicas e de sorção em condições otimizadas de secagem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A secagem por atomização (*spray drying*) vem sendo estudada há décadas, em diversos processos industriais.

2.1 O Milho

De acordo com a classificação botânica, o milho é uma gramínea que pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae do gênero *Zea*, que significa grão, cereal da espécie (*Zea mays* L.). É uma espécie diploide e alógama, originada há aproximadamente 7.000 a 10.000 anos, no México e na América Central. Tem ampla variedade genética, quanto às adaptações climáticas e dentre as espécies cultivadas (PATERNIANI et al., 2000).

O milho é um dos principais cereais que fornecem produtos utilizados na alimentação humana e animal, e como matéria-prima para a indústria. A maioria dos genótipos cultivados no Brasil é de milho comum, sendo o milho-doce utilizado principalmente pela indústria de enlatados (PAIVA JÚNIOR, 2001).

Para atender tanto aos interesses da indústria de envasamento quanto à produção para o consumo *in natura*, o próprio produtor de milho verde apresenta alguns atributos para melhor aceitação, que vão do plantio durante o ano, à produtividade a campo acima de 12 t ha⁻¹, à longevidade no período da colheita, ao bom empalhamento e ao rendimento industrial de grãos igual ou maior que 30% (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2003). Existem mais de 3.500 diferentes usos de produtos que se extraem do milho (amido, xarope, álcool, óleo vegetal e glúten), os quais se prestam a inúmeras e diversificadas aplicações que advêm da produção de cereais (FORNASIERI FILHO, 2007; MÉDICI et al., 2009). O milho é um cereal importante, principalmente pelo valor nutritivo dos grãos e da planta, para fim de silagem (DEMINICIS et al., 2009; PANZIANI et al., 2009).

No estágio verde de maturação, o milho é consumido na forma de milho verde, como espiga cozida ou assada e também, na tradicional culinária, brasileira, na formulação de bolo, pão e sorvetes (SAWAZAKI; POMMER; ISHIMURA, 1979). É extremamente importante o destino da produção após a colheita, pois elevados teores de açúcares dos grãos podem inviabilizar o processamento de alguns pratos, como o curau e a pamonha, que necessitam de amido para que tenham a consistência adequada ao consumo (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2003).

2.1.1 Fisiologia da cultura do milho

O ponto de colheita do milho verde pode ser determinado pela contagem do número de dias após a polinização. Dessa forma, a fase ideal de colheita seria aos 19 dias após a polinização (SAWAZAKI; POMMER; ISHIMURA, 1979) ou aos 25 dias após a polinização, apresentando cabelos ou estilo-estigmas de cor castanha (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2011).

Quando ocorre o avanço da maturação do milho verde, as reações metabólicas ocorridas após a colheita fazem com que a maior parte dos açúcares livres seja convertida a amido (KAYS, 1991; ROMERO; PERATA; AKAZAWA, 1999).

Pereira e Cruz (2002) mencionam que a planta de milho apresenta estádios de desenvolvimento dos grãos, sendo a fase de grão leitoso destinada ao consumo de milho verde. Esta fase apresenta aparência amarela e, no seu interior, um fluido de cor leitosa, que é o início da transformação dos açúcares em amido, podendo o ciclo da cultura variar conforme a cultivar. Esses açúcares são oriundos da translocação dos fotoassimilados presentes nas folhas e no colmo para a espiga e os grãos em formação (MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

No referido estágio, segundo Pereira e Cruz (2002), o grão já apresenta o pleno desenvolvimento de suas estruturas, restando os estádios de formação de dente, maturidade fisiológica e desidratação (grão seco).

2.1.2 Composição química do milho verde

O milho verde é rico em carboidratos, sendo considerado um alimento energético, e fornecem pequenas quantidades de vitaminas B₁, B₂ e E (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MILHO - ABIMILHO, 2011; MATOS et al., 2010).

O milho verde comum tem em torno de 3% de açúcares e de 70% a 80% de umidade, enquanto o milho-doce tem de 9% a 14% de açúcares e cerca de 30% a 35% de amido (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2003; SILVA; PATERNIANI, 1986).

Quando consumido na forma de espigas cozidas, cada 100 g de milho verde possui 6,2 g de proteínas, 6 g de cálcio, 0,5 mg de ferro, 103 mg de fósforo, 45 U.I. de vitamina A, 150 µg de tiamina, 203 µg de riboflavina, 2,1 µg de niacina e 1 mg de vitamina C (FILGUEIRA, 2000).

O grão de amido do milho contém dois tipos de moléculas, que são a amilose e a amilopectina, na proporção de 27% a 73%, respectivamente. As proteínas constituem aproximadamente 10% do peso total do grão. Os principais ácidos graxos encontrados nos grãos do milho estão representados pelo ácido palmítico, 12%; esteárico, 2%; oleico, 27%; linoleico, 59%; linolênico, 0,8% e carotenoides totais variando de 12 a 33 µg.g⁻¹ (PAES; GUIMARÃES; SCHAFFERT, 2006; PATERNIANI; VIEGAS, 1978).

2.1.3 Comercialização do milho verde

A produção de milho verde tem obtido resultados expressivos de produtividade e rentabilidade, visto que ele tem maior valor de comercialização, quando comparado com o milho destinado para grãos. Para os agricultores, o milho verde é uma fonte adicional de renda, pois apresenta valor comercial superior ao do milho comercializado na forma de grãos. Há também a comercialização em centrais de abastecimento (CEASAS, CEAGESP e outras), incorporando o processo de negociação e transferência do produto, dentre os diversos estágios do processo produtivo (AZEVEDO, 2001).

De acordo com Pereira Filho e Cruz (2003), as características consideradas importantes na comercialização *in natura* de espigas de milho são o tipo de grão, o tamanho, o formato de espigas e a coloração. Segundo Rodrigues et al. (2009), na comercialização de espigas de milho verde é preferível, para os consumidores, que a coloração seja de creme a amarelo-clara. Para Pereira e Cruz (2002), os híbridos de milho verde devem possuir características físicas e fisiológicas de acordo com as necessidades do mercado consumidor.

O critério para aceitabilidade de produtos desidratados está correlacionado com a cor do produto e as alterações neste processo térmico que possam reduzir a sua qualidade (LARROSA; MUSZINSKI; PINTO, 2011; MASKAN, 2001).

2.1.4 Armazenamento

O setor agrícola brasileiro tem sido apontado como um dos mais importantes segmentos para a economia do país, devido à elevada produção de grãos, como também de frutas e hortaliças. Atualmente, ainda existe uma parcela

de produtores que colhe e armazena o milho mantendo a palha sobre os grãos, visando à proteção contra o ataque de agentes depreciativos. Essa forma de processamento do milho é bastante utilizada em pequenas propriedades, onde o produto é consumido gradativamente (CORRÊA; RESENDE; RIBEIRO, 2005).

O milho verde é altamente perecível e perde as características do sabor adocicado em razão da transformação da sacarose em amido nos grãos. A 21 °C, o teor de sacarose pode ser reduzido em mais de 30% por dia (LUENGO; CALBO, 2001). Para reduzir as perdas de sacarose, o milho verde deve ser armazenado em temperaturas um pouco acima do congelamento (-0,6 °C), ao redor de 0 °C (MATOS et al., 2010). A umidade relativa do ar no armazenamento das espigas sem as palhas é muito importante, em comparação com as espigas empalhadas, que têm boa proteção contra a perda de água, que deve ser superior a 95%, para manter o frescor e a turgescência dos grãos (ALVES et al., 2004). Porém, o milho verde precisa ser pré-resfriado logo após a colheita, transportado rapidamente e comercializado em um ou dois dias, em balcões refrigerados sob umidade elevada, pois as alterações de qualidade ocorrem mais rapidamente do que as mudanças na aparência (MATOS et al., 2010).

Como a maioria dos vegetais, o milho verde é um alimento perecível, o que dificulta a oferta do produto. No entanto, há a necessidade de desenvolver um método para a sua preservação, que não somente diminua as perdas, mas também gere produtos adicionais para as indústrias (DAVOODI et al., 2007). A secagem é uma forma de conservação que permite a obtenção do extrato seco com maior vida de prateleira, concentrando o sabor e mantendo o valor nutritivo. Os produtos alimentícios em pó vêm sendo cada vez mais utilizados pela indústria de alimentos, reduzindo significativamente os custos de embalagem, armazenamento e conservação (COSTA et al., 2003).

A secagem por atomização, ou *spray drying*, é muito utilizada para a transformação de um produto no estado fluido para o estado sólido, em forma de pó. O projeto do processo de secagem por atomização inclui a determinação das condições operacionais e o curto tempo de residência do material na câmara de secagem e baixo custo, quando comparado aos demais tipos de secadores (CHAUD; SGARBIERI, 2006).

2.2 Reologia

A reologia é o estudo da mecânica de deformação permanente ou temporária em produtos sólidos e líquidos que apresenta característica diferenciada nos alimentos. O termo reologia (*rheo* – deformação e *logia* – ciência) significa a ciência que se preocupa com a descrição das propriedades mecânicas dos vários materiais em diferentes condições de deformação, quando eles exibem a capacidade de escoar e/ou acumular deformações reversíveis (NAVARRO, 1997).

De acordo com Sharma, Mulvaney e Rizvi (2000), a reologia desempenha papel fundamental no desenvolvimento, na fabricação e no processamento de produtos alimentícios, servindo como meio de controlar e monitorar um processo industrial. A importância do conhecimento do comportamento reológico das frutas e de vegetais está na sua utilização como medida de qualidade, além de ser indispensável em projetos, avaliação e operação dos equipamentos (HAMINIUK, 2005).

Segundo Bobbio e Bobbio (2003), o comportamento reológico de um material de maior ou menor fluidez depende da interação física entre as moléculas que o compõem e essa interação depende, principalmente, das forças de atração e repulsão entre as moléculas.

A viscosidade dos alimentos é a propriedade física de um líquido de resistir ao fluxo induzido pela tensão aplicada (cisalhamento). O conhecimento da viscosidade pode contribuir para a otimização de processos, a redução dos custos e a melhoria da consistência do produto (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000). De acordo com Tepper, Shaffer e Shearer (1994), a viscosidade pode ser utilizada como o ponto de partida no processo de seleção e projetos de equipamentos, pois ela afeta também os parâmetros operacionais, como a temperatura, uma vez que, na maioria dos casos, a viscosidade diminui com o acréscimo da temperatura, sendo importante determinar o intervalo adequado para facilitar o manuseio do produto sem causar prejuízo ao sabor.

2.2.1 Comportamento reológico

Os fluidos são classificados de acordo com seu comportamento reológico, por meio da análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação (gradiente de deformação) para condições de temperatura e pressão estabelecidas. O comportamento reológico dos fluidos é dividido em duas categorias, newtonianos e não newtonianos, como apresentado na Figura 1 (BARBOSA-CÁNOVAS; JULIANO, 2005).

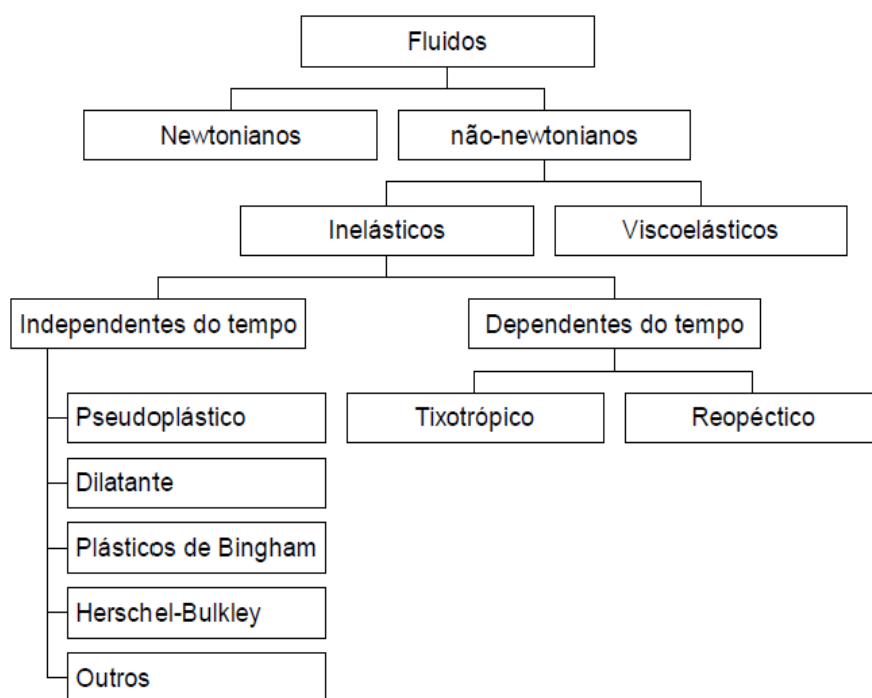


Figura 1 Classificação geral dos fluidos
 Fonte: Toneli, Murr e Park (2005)

De acordo com Castro, Covas e Diogo (2001), os fluidos newtonianos são aqueles que apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, em que a viscosidade é influenciada pela temperatura e a concentração e independente da taxa de deformação e tensão de cisalhamento inicial. Este comportamento é observado em vários produtos, tais como sucos de frutas clarificados e despectinizados (LIRA, 2001), leite, suco de maçã, suco de laranja, vinho, cerveja (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000) e purê de pêssego (TORRALLES et al., 2006).

Os fluidos não newtonianos apresentam comportamento mais complexo, cuja viscosidade depende da tensão de cisalhamento aplicada ou do tempo de sua aplicação, e deixa de ser um coeficiente para se tornar uma propriedade que

varia de acordo com as condições com as quais o fluido se depara, sendo denominada viscosidade aparente (NAVARRO, 1997). Segundo Rao e Rizvi (1986), os fluidos não newtonianos podem ser dependentes ou independentes do tempo.

De acordo com Nagy, Chen e Shaw (1993), polpas de frutas, em que grande quantidade de material particulado insolúvel está presente, são fluidos não newtonianos, como polpa de açaí (FERREIRA et al., 2002).

Os fluidos não newtonianos independentes do tempo, à temperatura constante, possuem viscosidade aparente dependente apenas da taxa de deformação e estão subdivididos em três categorias: fluidos pseudoplásticos, dilatantes e plásticos de Bingham (CASTRO; COVAS; DIOGO, 2001; GUZEY; MCCLEMENTS, 2007).

Os fluidos pseudoplásticos apresentam comportamento reológico independente do tempo, sem tensão residual. O escoamento começa sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais e a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação. Quanto maior a tensão aplicada, maior também será a ordenação; conseqüentemente, a viscosidade aparente será menor (HOLDSWORTH, 1971). Este comportamento foi observado em polpa de jabuticaba (SATO; CUNHA, 2004), polpa de umbu (EVANGELISTA; QUEIROZ; FIGUEIRÊDO, 2003), suco de cupuaçu (QUEIROZ; FIGUEIRÊDO; CABRAL, 2004), misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura (BRANCO; GASPARETTO, 2005) e polpa de umbu-cajá (TORRES et al., 2004).

Dentre os fluidos dilatantes a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação, sendo o oposto dos fluidos pseudoplásticos. Este tipo de fluido é raro, tendo sido encontrado em suco concentrado de maracujá (GONÇALVES, 1989).

Para plástico de Bingham, o fluido precisa de uma tensão de cisalhamento inicial para que haja fluxo ou movimentação do material. Uma vez atingida esta tensão, o fluido passa a apresentar comportamento newtoniano e é chamado plástico ideal (FERREIRA, 2002). Segundo Gonçalves (1989), este comportamento pode ser encontrado em purê de batata, mostarda, chocolate fundido e creme batido. Leite et al. (2004) encontraram esse comportamento em extrato de inulina de raízes de chicória.

Para fluidos dependentes do tempo, a viscosidade aparente diminui com o tempo, para condições com temperatura e taxa de deformação constante, comportamento observado em sucos de frutas (GUEDES; RAMOS; DINIZ, 2010), mistura ternárias de frutas vermelhas (GRANGEIRO et al., 2007) e polpa de banana (SILVA; BILIA; BARBEDO, 2005).

A viscosidade aparente para fluidos reopéticos aumenta com o tempo, para condições com temperatura e taxa de deformação constante. Este comportamento não é comum em alimentos, sendo observado em soluções de amido altamente concentradas, em tempos longos (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000).

Comportamentos viscoelásticos encontram-se entre líquido e sólido, apresentando-se parcialmente viscosos e elásticos. De acordo com Omar, Raphaelide e Kesteloot (1995), o queijo *petit suisse* nacional é um queijo magro feito com leite desnatado, adicionado de creme e apresenta comportamento elástico (sólido) e viscoso (líquido).

2.3 Secagem

As condições climáticas do Brasil e as distâncias entre os centros de produção e consumo são fatores que justificam o uso de métodos de secagem na

conservação de frutas e vegetais, principalmente quando há necessidade de transportá-los e percorrer longas distâncias (ORNELLAS, 2001).

Durante a estocagem e a distribuição, os alimentos estão expostos a várias condições ambientais, tais como temperatura, umidade, oxigênio e luz, que podem deflagrar as reações que levam à sua degradação (WOLKOFF, 2004).

Segundo Vilela e Henz (2000), a perda agrícola reduz a quantidade de produto, aliada ao inadequado controle de qualidade, à incidência de danos físicos, à exposição a temperaturas impróprias e à demora entre a colheita e o consumo.

Dentre as diferentes formas de preservação dos alimentos, a secagem é largamente utilizada por permitir uma estabilidade aos alimentos, prolongando sua vida de prateleira ao reduzir a atividade de água (FELLOWS, 2006). De acordo com Mayor e Sereno (2004), a secagem é um dos processos mais comuns utilizados para melhorar a estabilidade dos alimentos. Para Soares et al. (2001), a secagem de alimentos consiste em um método de conservação que impede sua deterioração e perdas. Motta (2005) observou que os métodos de secagem de alimentos, nos últimos anos, vem proporcionando produtos com baixo custo, com pouca alteração nas suas características sensoriais e nutricionais.

Segundo Sharma et al. (2000 citados por MOURA, 2004), o processo de secagem pode ser dividido em três períodos (Figura 2). O primeiro período representa o início da secagem, quando ocorre a elevação gradual da temperatura em relação à diminuição do teor de água do produto. Essas elevações atingem um ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa. O segundo período caracteriza-se pela taxa constante de secagem por tempo, dX/dt em relação à evolução do tempo (t), em que a água evaporada é a água livre. As transferências de massa e de calor são equivalentes durante um período constante. No terceiro período, a taxa de secagem é decrescente,

representando uma quantidade de água menor na superfície do produto e uma redução da transferência de massa. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é finalizado.

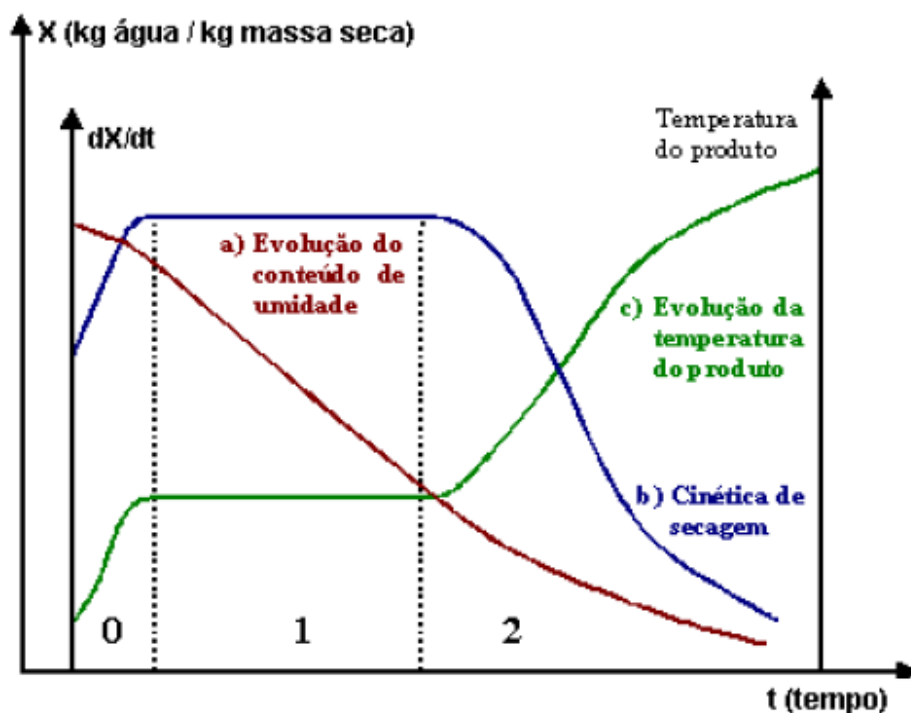


Figura 2 Curva típica de secagem
Fonte: Park, Bin e Brod (2004)

Entre os secadores mais utilizados industrialmente estão secadores de esteiras, pneumáticos (*flash dryers*), atomização (*spray dryer*), leito fluidizado, cilindro rotativo, liofilizador e micro-ondas. Os fatores que determinam a escolha do tipo de secador a ser utilizado incluem a natureza do produto, as

condições de operação e os fatores econômicos (CHUA; CHOU, 2003; ORDÓÑEZ, 2005; TRAVAGLINI; GASPARINO FILHO; AGUIRRE, 1999).

2.3.1 Secagem por atomização ou *spray drying*

A secagem por atomização, ou *spray drying*, é uma técnica amplamente utilizada na indústria de alimentos (Figura 3). É um processo antigo empregado para conservar os alimentos, em que o produto, para ser seco, é exposto a uma corrente de ar quente continuamente fluído (RATTI, 2001). Os primeiros produtos de que se tem notícia como obtidos em larga escala por *spray drying* foram o leite e o sabão em pó (TONON, 2009; TONON et al., 2009). Esse processo é econômico e flexível, sendo empregado para a secagem de diversos produtos, produzindo tamanho de partículas e teor de umidade específicos, independentemente da capacidade do equipamento e da sensibilidade térmica do produto (AL-ASHEH et al., 2003; GHARSALLAOUI et al., 2007).

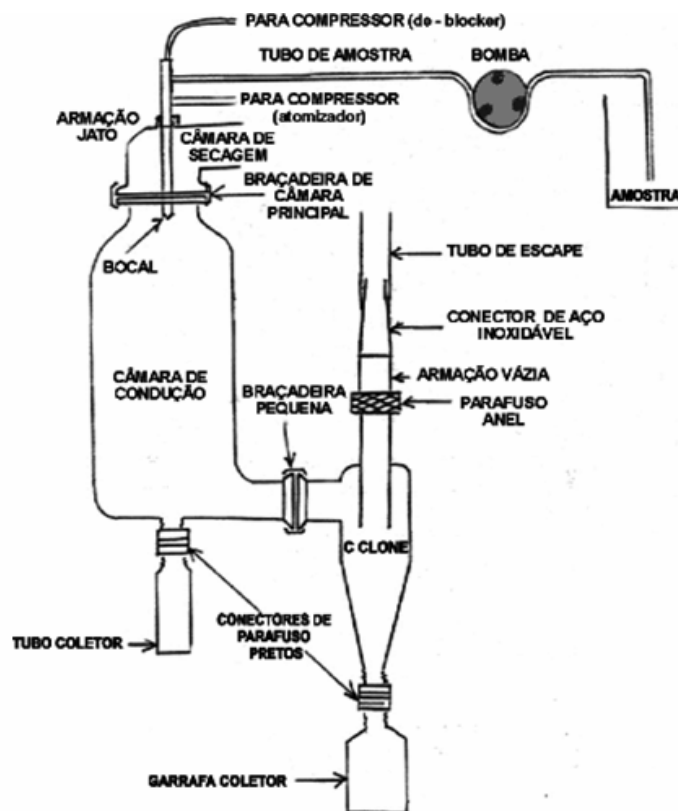


Figura 3 Esquema de secagem por atomização
 Fonte: Valduga, Battestin e Finzer (2003)

Embora o equipamento seja caro, a vantagem da manutenção é o custo baixo (DEYMONAZ et al., 2011). Este método de secagem tem sido empregado para encapsular sucos de frutas (ABADIO et al., 2004; BORGES; JORGE; OLIVEIRA, 2003), produtos amiláceos (GOMES; SILVA, 2003; GRABOWSKI; TRUONG; DAUBERT, 2008; JINAPONG; SUPHANTHARIKA; JAMNONG, 2008), oleoresinas (KANAKDANDE; BHOSALE; SINGHAL, 2007; TURCHIULI et al., 2005), corantes (BARBOSA; BORSARELLI; MERCADANTE, 2005; LOKSUWAN, 2007) e compostos

aromáticos (BARANAUSKIENÉ et al., 2006; COSTA et al., 2010; LEE; KIM; KIM, 1999; LIU et al., 2004).

A construção da câmara e as condições de trabalho são ajustadas de modo a ocorrer uma evaporação necessária de água, sem elevar demasiadamente a temperatura do produto (GAVA, 1998). No processo de secagem por atomização de um fluido (emulsão ou solução), ao passar sob pressão em um bico atomizador e/ou giratório com válvulas de pressão líquida ou ar comprimido, ele é transformado em numerosas microgotículas, lançadas em um fluxo de ar aquecido, na câmara de secagem, onde são produzidas partículas secas (AZEREDO et al., 2004; MUTKA; NELSON, 1988; NOGUEIRA; PARK; DEYRMENDJIAN, 2000; SILVA JÚNIOR et al., 2006). A evaporação da água do líquido atomizado ocorre na temperatura entre 160 °C e 230 °C. A desidratação da gotícula é quase instantânea e há evaporação da água na forma de névoa, evitando, assim, que o alimento sofra a influência de secagem em altas temperaturas (SILVA, 2000). Com isso, o tempo de exposição do material ao calor é curto (geralmente 1 a 2 segundos) e a temperatura do núcleo, geralmente, não ultrapassa 100 °C, o que reduz a ocorrência de alterações indesejáveis em compostos termossensíveis (DZIEZAK, 1988; SANTOS; FERREIRA; GROSSO, 2000). O ar de secagem sai pela parte inferior do equipamento à temperatura de 60 °C a 80 °C, passando por ciclones para recuperar partículas finas (através de força centrífuga) e dando saída para a atmosfera (SILVA, 2000).

O ar aquecido, em relação à área de superfície/volume das gotículas, promove rápida evaporação da água e as gotículas transformam-se em partículas (pó). A separação do pó se faz por meio da projeção do ciclone, em que é deixado no coletor.

A separação do produto seco e do ar de secagem tem importância sobre as características do produto em pó devido ao manuseio mecânico utilizado

nesta separação, que pode misturar produtos coletados na base inferior do secador e produtos obtidos no ciclone. Estas operações influenciam o tamanho e a distribuição de partículas, a densidade aparente, a solubilidade e a molhabilidade, e a medida e a caracterização dessas propriedades ajudam a definir o produto (MILLQVIST-FUREBY; LOFSSON; BERGENSTAHL, 2001; VISSOTO et al., 2006).

De acordo com Azeredo et al. (2004) e Silva (2000), a secagem por atomização utilizada na desidratação de alimentos líquidos, como leite e café solúvel, consiste, basicamente, de uma câmara, geralmente cônica, de diâmetro e altura devidamente calculados.

Os alimentos ricos em açúcares, como sucos, mel e derivados de amido hidrolizado, têm excelente potencial econômico. A transformação desses produtos em pequenas partículas secas resulta em redução de volume e, geralmente, aumenta a vida de prateleira do produto (CANO-CHAUCA et al., 2005). No Quadro 1 observam-se as vantagens e as desvantagens desse método (AZEREDO, 2005).

Quadro 1 Vantagens e desvantagens do uso da técnica de secagem por atomização

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo de operação	Não produz materiais com tamanho uniforme
Alta qualidade das partículas obtidas	Limita a escolha do encapsulante (baixa viscosidade em altas concentrações)
Bom rendimento de processo	Não é uma boa técnica para materiais sensíveis ao calor (enzimas)
Produção de matéria com boa solubilidade	Custo do equipamento
Tamanho pequeno de partícula	
Alta estabilidade dos materiais obtidos	

2.3.2 Alterações provocadas pela secagem

O conhecimento do processo de secagem é um fator muito importante nas características dos produtos em pó, sendo necessário otimizar o processo e conhecer a sua funcionalidade. As propriedades dos produtos em pó obtidos por *spray drying*, como densidade, distribuição do tamanho e formato das partículas, são dependentes das características do produto e das condições de processo. Esses parâmetros contribuem com as propriedades funcionais dos pós, incluindo sua fluidez, manipulação, compressibilidade e mistura/segregação dos seus componentes (BHANDARI; HARTEL, 2005).

Segundo Cai e Corke (2000) e Desobry et al. (1997), o processo de secagem por atomização afeta as propriedades do produto em função das

variáveis do processo, tais como propriedades do material inicial (composição, concentração e viscosidade) e condições de secagem (temperatura de entrada do ar, vazão de alimentação e velocidade de atomização). A temperatura de saída do produto é decorrente da combinação dos outros parâmetros, sendo influenciada pela temperatura do ar de entrada no equipamento, pela velocidade de atomização da solução e pela vazão de aspiração do produto para ciclone.

Al-Asheh et al. (2003) avaliaram o efeito das condições de secagem por atomização nas propriedades do pó de tomate. Estes autores observaram uma variação na solubilidade do pó em altas temperaturas, visto que a vazão de alimentação resultou em um produto em pó com partículas maiores.

De acordo com Peña-Ramos e Xiong (2003), o pó resultante da secagem apresenta suas características de instantaneidade sobre a superfície de um líquido, quando ocorrem a molhabilidade (que consiste na penetração do líquido para o interior da estrutura do pó devido à capilaridade), a imersibilidade (imersão das partículas ou de porções do pó), a dispersibilidade (dispersão do pó) e a solubilidade (dissolução das partículas), desde que estas sejam solúveis.

O conhecimento da densidade na característica do pó é importante para o armazenamento, o processamento, o empacotamento e a distribuição. Um dos mais importantes parâmetros físicos a serem considerados no produto em pó é o tamanho das partículas, em que as partículas menores podem penetrar na parte inferior entre as partículas maiores (O'HAGAN et al., 2005). Essa propriedade pode influenciar a aparência, a escoabilidade e a dispersibilidade do pó. Quando o tamanho da partícula diminui, ocorre um aumento da área superficial; o pó apresenta afinidade com a água e capacidade para aglomerar (TÓTH; PALLAI-VARSÁNYI, 2006). As condições do processo de secagem por atomização resultam em pós com diferentes microestruturas, podendo a superfície ser lisa ou rugosa, as quais afetam o padrão de escoamento do produto, além da retenção de substâncias ativas encapsulados (SHEU & ROSENBERG, 1995).

Sheu e Rosenberg (1995) observaram variações na estrutura superficial de microcápsulas obtidas por secagem por atomização. Observaram-se variações no tamanho de partícula e formação de dobras na superfície, sendo influenciadas pelo escoamento dos pós.

2.3.3 Coadjuvantes de secagem

Materiais ricos em açúcares e ácidos de baixo peso molecular, como os sucos de frutas e os vegetais, são difíceis de atomizar, pois produzem pós muito higroscópios, suscetíveis à aglomeração e a problemas de escoamento. Em temperaturas geralmente utilizadas em atomizadores, tais compostos de baixo peso molecular tendem a apresentar problemas de adesão às paredes da câmara de secagem, além de coesão das partículas entre si, podendo mesmo produzir um produto pastoso em vez de um pó (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997; ROOS, 1995). Como consequências, pode haver comprometimento da estabilidade do produto e redução do rendimento do processo, podendo causar entupimento do bico (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997). Essa alta higroscopicidade é explicada pelo fato de os açúcares tornarem-se gomosos à temperatura da câmara de secagem, ocorrendo redução do rendimento devido à adesão do produto na câmara de secagem, além de depreciação na qualidade do produto, reações de escurecimento e aglomeração (BHANDARI; HARTEL, 2005; BORGES; CAL-VIDAL, 1994; DOLINSKY; MALETSKAYA; SNEZHKIN, 2000). Essa alta higroscopicidade é explicada pelo fato de os açúcares e os ácidos de baixo peso molecular apresentarem baixa temperatura de transição vítrea (T_g), tornando-se gomosos à temperatura da câmara de secagem (BHANDARI; HARTEL, 2005; DOLINSKY; MALETSKAYA; SNEZHKIN, 2000).

Dentre os coadjuvantes, destacam-se o amido modificado, a goma arábica e a maltodextrina, que facilita a eficiência da secagem e melhora as características do produto (SILVA JÚNIOR et al., 2006; VASCONCELOS et al., 2005). Os principais encapsulantes empregados na secagem geralmente utilizados na indústria de alimentos encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 Agentes encapsulantes usados para alimentos

Classe	Encapsulante
Gomas	Goma arábica, cajueiro, alginato de sódio e carragena
Carboidratos	Amido, dextrina, xarope de milho
Lipídeos	Ceras, parafina, triestearina, ácido esteárico, mono e diglicerídios, óleos, gorduras
Celulose	Carboximetilcelulose, metil e etil celulose, acetil celulose, nitrocelulose
Proteínas	Glúten, caseína, gelatina e albumina

Fonte: Adhikari et al. (2004), Goula e Adamopoulos (2008a, 2008b), Jackson e Lee (1991), Kouassi e Roos (2001), Rodrigues e Grosso (2008) e Truong, Bhandari e Howes (2005a, 2005b)

2.3.4 Isotermas de sorção

Isoterma é uma curva que descreve a umidade de equilíbrio de um alimento em função de diferentes umidades relativas do ar, à temperatura constante, sendo esta relação dependente da composição química dos alimentos, tais como gordura, amido, açúcar e proteínas (CORRÊA et al., 2006; LUZ et al.,

2006; PARK; BIN; BROD, 2001; PARK; NOGUEIRA, 1992). O estudo da atividade de água pode ser feito por meio das isotermas de sorção. Assim, cada alimento apresenta características distintas de sorção de umidade, sendo necessária a determinação experimental para cada produto (WOLF; SPIESS; JUNG, 1985).

A atividade de água (a_w) é uma função termodinâmica, definida como a razão entre a fugacidade da água na mistura (f_w) e a fugacidade da água pura no estado padrão (f_0), ambos à mesma temperatura. Essa grandeza pode ser interpretada como a tendência da água de migrar para o estado gasoso. A comparação entre a atividade de água e a umidade relativa de equilíbrio (definida como a relação entre a pressão parcial da água no sistema e a pressão de vapor da água pura) apresenta uma diferença de 0,2% com a temperatura ambiente, à mesma pressão (GAL, 1975). No equilíbrio, a atividade de água está relacionada com a umidade relativa (UR) do ambiente, por meio da Equação 1, que relaciona a pressão de vapor de água em equilíbrio no alimento (P_w) com a pressão de vapor da água pura (P_v), à mesma temperatura.

$$a_w = \frac{P_w}{P_v} = \frac{UR}{100} \quad (1)$$

A relação entre atividade de água e a umidade para a maioria dos alimentos a uma temperatura particular é uma curva tipo sigmoideal, chamada de isoterma de sorção (CYBULSKA; DOE, 2007). As isotermas de sorção podem ser obtidas durante a hidratação do material (adsorção) e durante a sua secagem (dessorção). A diferença entre as isotermas de sorção e dessorção é chamada de histerese (Figura 4).



Figura 4 Representação das regiões das isotermas
 Fonte: Adaptado por Rahman e Labuza (2007)

A isoterma de sorção dos alimentos pode ser dividida em três regiões, em função do estado físico da água presente no alimento. A primeira região (A), para valores de atividade de água entre 0 e 0,35, representa a adsorção de uma monocamada de água. A segunda região (B) representa a adsorção das camadas adicionais da água acima da monocamada para níveis da atividade de água entre 0,35 e 0,60. Representa a água condensada nos poros do material, seguida pela dissolução do material solúvel presente (LABUZA, 1968).

Isotermas de sorção são importantes na análise e controle de vários processos na indústria, como determinação de melhores condições de secagem e armazenamento de produtos alimentícios que podem ser utilizadas para prever mudanças na estabilidade do alimento e para selecionar o material de embalagem (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004; ZHANG et al., 1996). Para se construir a isoterma de sorção é necessário um ambiente com umidade relativa controlada. O método de controle de umidade relativa mais comum é a utilização de dessecadores com soluções saturadas de sais. Cada solução apresenta um grau de ajuste de umidade relativa que pode ser obtido variando-se

a concentração das soluções a diferentes temperaturas (DITCHFIELD, 2000; PARK; BIN; BROD, 2001).

As soluções saturadas de sais são consideradas as mais adequadas porque podem liberar ou adsorver água sem sofrer alteração da sua umidade relativa de equilíbrio, apesar de não haver concordância unânime entre os pesquisadores quanto ao valor exato de a_w de muitos sais (DITCHFIELD, 2000).

Vários modelos já foram propostos na literatura para descrever as isotermas de sorção. Esses modelos são classificados em categorias da cinética, sendo baseados na teoria da monocamada (BET), na teoria de multicamadas (GAB) e empíricos ou semiempíricos (Oswin e Peleg) (IGUEDJATAL; LOUKA; ALLAF, 2008).

REFERÊNCIAS

- ABADIO, F. D. et al. Physical of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice: effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, n. 3, p. 285-287, June 2004.
- ADHIKARI, B. et al. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 62, n. 1, p. 53-68, Feb. 2004.
- AL-ASHEH, S. et al. The use of experimental factorial design for analysing the effect of *spray dryer* operating variables on the production of tomato powder. **Transaction on Institute Chemical Engineering**, London, v. 81c, n. 1, p. 81-88, 2003.
- ALVES, S. M. D. F. et al. Avaliação de cultivares de milho para o processamento de pamonha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 39-43, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MILHO. **O cereal que enriquece a alimentação humana**. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/ocereal.htm>>. Acesso em: 19 out. 2011.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.
- AZEREDO, H. M. C. et al. Métodos de conservação de alimentos. In: AZEREDO, H. M. C. (Ed.). **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: EMBRAPA Agroindústria Tropical, 2004. p. 97-128.
- AZEVEDO, P. F. D. Comercialização de produtos agroindustriais. In: BATALHA, M. O. (Coord.). **Gestão agroindustrial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001. v. 1, p. 64-99.
- BARANAUSKIENÉ, R. et al. Properties of oregano (*Origanum vulgare* L.), citronella (*Cymbopogon nardus* G.) and marjoram (*Majorana hortensis* L.) flavors encapsulated into milk protein-based matrices. **Food Research International**, Barking, v. 39, n. 4, p. 413-425, May 2006.

BARBOSA, M. I. M. J.; BORSARELLI, C. D.; MERCADANTE, A. Z. Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations. **Food Research International**, Barking, v. 38, n. 8/9, p. 989-994, Oct./Nov. 2005.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered food**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 39-74.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, New York, v. 15, n. 2, p. 671-684, Apr. 1997.

BHANDARI, B. R.; HARTEL, R. W. Phase transitions during food powder production and powder stability. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered food**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 261-292.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Manual de laboratório de química de alimentos**. São Paulo: Varela, 2003. 135 p.

BORGES, S. V.; CAL-VIDAL, C. J. Kinetics of water vapour sorption by drum-dried banana. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 29, n. 1, p. 83-90, Mar. 1994.

BORGES, S. V.; JORGE, E. C.; OLIVEIRA, V. M. Empleo de um secador por atomização a escala piloto em laproducción de maracuya em polvo e suaceptabilidad como jugo reconstituído. **Alimentaria**, Madrid, v. 342, n. 3, p. 83-87, 2003.

BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico de misturas de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura utilizando modelo de Casson. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 183-189, 2005.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray dried amaranthus beta cyanin pigments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 6, p. 1252-1252, June 2000.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, London, v. 6, n. 4, p. 420-428, Dec. 2005.

CÁNOVAS, G. V. B.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered food**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 39-71.

CASTRO, A. G. D.; COVAS, J. A.; DIOGO, A. C. **Reologia e suas aplicações industriais**. Lisboa: Instituto PIAGET, 2001. 462 p.

CHAUD, S. G.; SGARBIERI, V. C. Propriedades funcionais (tecnológicas) da parede celular de leveduras da fermentação alcoólica e das frações glicana, manana e glicoproteína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 369-379, 2006.

CHUA, K. J.; CHOU, S. K. Low-cost drying methods for developing countries. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 14, n. 12, p. 519-528, Dec. 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira 2010/2011: sexto levantamento**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

CORRÊA, P. C. et al. Equilíbrio higroscópico de milheto, alpiste e painço: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 1, p. 126-134, 2005.

COSTA, J. M. C. D. et al. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.

COSTA, J. M. G. D. et al. Influência de encapsulantes na retenção de carvacrol no óleo essencial de orégano microencapsulado por spray dryer. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 22., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: UFBA, 2010. 1 CD-ROM.

CYBULSKA, E. B.; DOE, P. E. Water and food quality. In: SIKORSKI, Z. E. (Ed.). **Chemical and functional properties of food components**. 3rd ed. Boca Raton: CRC, 2007. p. 25-50.

DAVOODI, M. G. et al. Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 40, n. 10, p. 1832-1840, Oct. 2007.

DEMINICIS, B. B. et al. Silagem de milho: características agrônômicas e considerações. **Revista Electronica de Veterinária**, Madrid, v. 10, n. 2, p. 1-16, 2009.

DESOBRY, S. A. et al. Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, n. 6, p. 1158-1162, Nov. 1997.

DEYMONAZ, C. et al. **Spray drying**. Disponível em: <http://www.wsu.edu/~gmhyde/433_web_pages/drying-web-pages98/spray-dry/Spray-Drying-intro.htm>. Acesso em: 22 abr. 2011.

DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DOLINSKY, A.; MALETSKAYA, K.; SNEZHKIN, Y. Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convective drying methods. **Drying Technology**, New York, v. 18, n. 3, p. 747-758, June 2000.

DZIEZAK, J. D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technology**, Oxford, v. 42, n. 4, p. 136-151, 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Hortaliças. **Colheita do milho**. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/laborato/pos_colheita/milho_verde.htm>. Acesso em: 26 set. 2011.

EVANGELISTA, I. J.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. D. Viscosidades aparentes de polpas de umbu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CONBEA, 2003. 1 CD-ROM.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.

FERREIRA, G. M. **Reologia de polpas de caju (*Anacardium occidentale*, L.) e goiaba (*Psidium guajava*, L.)**. 2002. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2002.

FERREIRA, G. M. et al. Efeito da temperatura sobre o comportamento reológico da polpa de açaí (*Euterpe Oleracea*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: CONBEA, 2002. 1 CD-ROM.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 402 p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 2007. 576 p.

GAL, S. Recent developments in techniques for the determination of sorption isotherms. In: DUCKWORTH, R. B. (Ed.). **Water relations of foods**. London: Academic, 1975. p. 139-155.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 8. ed. São Paulo: Nobel, 1998. 284 p.

GHARSALLAOUI, A. et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. **Food Research International**, Barking, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, Sept. 2007.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O. Elaboração e análises físico-químicas de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 292, p. 687-697, 2003.

GONÇALVES, J. R. **Introdução à reologia de alimentos fluidos: reologia e textura de alimentos**. Campinas: ITAL, 1989. 32 p.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I., drying kinetics and product recovery. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 6, p. 714-725, June 2008a.

_____. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II., powder properties. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 6, p. 726-737, June 2008b.

GRABOWSKI, J. A.; TRUONG, V. D.; DAUBERT, C. R. Nutritional and rheological characterization of spray dried sweetpotato powder. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 2, p. 206-216, 2008.

GRANGEIRO, A. A. et al. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-índia. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 219-224, abr./jun. 2007.

GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M.; DINIZ, M. D. N. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, n. 4, p. 279-285, out./dez. 2010.

GUZEY, D.; MCCLEMENTS, J. Impact of electrostatic interactions on formation and stability of emulsions containing oil droplets coated by β -lactoglobulin-pectin complexes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 2, p. 475-485, Dec. 2007.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium catlleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp.*)**. 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 2, n. 4, p. 393-418, 1971.

IGUEDJATAL, T.; LOUKA, N.; ALLAF, K. Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, n. 2, p. 180-190, Apr. 2008.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and food industry. **Food Science and Technology**, London, v. 42, n. 4, p. 289-297, Dec. 1991.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, *spray drying* and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 84, n. 4, p. 391-403, Aug. 2008.

KANAKDANDE, D.; BHOSALE, R.; SINGHAL, R. S. Stability of cuminin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 67, n. 4, p. 536-541, Feb. 2007.

KAYS, E. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI Book, 1991. 532 p.

KOUASSI, K.; ROOS, Y. H. Glass transition and water effects on sucrose inversion in noncrystalline carbohydrate food systems. **Food Research International**, Barking, v. 34, n. 10, p. 895-901, Oct. 2001.

LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, Oxford, v. 22, n. 3, p. 15-24, 1968.

LARROSA, A. P. Q.; MUSZINSKI, P.; PINTO, L. A. D. A. Programação linear para formulação de pasta de vegetais e operação de secagem em leite de jorro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 11, p. 2032-2038, nov. 2011.

LEE, S. W.; KIM, M. H.; KIM, C. K. Encapsulation of ethanol by spray drying technique: effects of sodium lauryl sulfate. **International Journal of Pharmaceutics**, Amsterdam, v. 187, n. 2, p. 193-198, 1999.

LEITE, J. T. D. C. et al. Caracterização reológica das diferentes fases de extrato de inulina de raízes de chicória, obtidas por abaixamento de temperatura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 202-210, 2004.

LIRA, F. A. O. Propriedades reológicas de alimentos fluidos. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. (Ed.). **Métodos para medir propiedades físicas em indústrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001. p. 89-108.

LIU, Z. Q. et al. The enhancement and encapsulation of *Agaricusbisporus* flavor. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 65, n. 3, p. 391-396, Dec. 2004.

LOKSUWAN, J. Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 21, n. 6, p. 928-935, July/Aug. 2007.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. **Armazenamento de hortaliças**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2001. 242 p.

LUZ, R. G. et al. Estudo das isotermas de equilíbrio do farelo de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 408-413, abr./jun. 2006.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Aspectos fisiológicos para o consumo como milho-verde. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **O cultivo do milho-verde**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2003. p. 49-66.

MASKAN, M. Kinetic of colour change of kiwi fruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 48, n. 2, p. 169-175, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00154-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00154-0)>. Acesso em: 15 fev. 2012.

MATOS, M. J. L. F. et al. **Hortalças: milho verde**. Disponível em: <<http://www2.correioweb.com.br/hotsites/alimentos/milhoverde/alimento.htm>>. Acesso em: 8 nov. 2010.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 61, n. 3, p. 373-386, Feb. 2004.

MEDICI, L. O. et al. Diallelic analysis for lysine and oil contents in maize grains. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 204-209, 2009.

MILLQVIST-FUREBY, A.; LOFSSON, U.; BERGENSTAHL, B. Surface composition of spray-dried milk protein-stabilised emulsions in relation to pre-heat treatment of proteins. **Colloids and Surfaces: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 47-58, 2001.

MOTTA, J. D. **Construção e avaliação de um colorímetro para produtos agrícolas**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

MOURA, C. P. **Aplicação de redes neuronais para predição e otimização do processo de secagem de Yacon (*Polymniasonchifolia*) com pré-tratamento osmótico**. 2004. 100 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MUTKA, J. R.; NELSON, D. B. Preparation of encapsulated flavors with high flavor level. **Food Technology**, Oxford, v. 42, n. 4, p. 154-157, 1988.

NAGY, S.; CHEN, C. S.; SHAW, P. E. **Fruit juice processing technology**. Davis: Agscience, 1993. 713 p.

NAVARRO, R. F. **Fundamentos de reologia de polímeros**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1997. 264 p.

NOGUEIRA, R. L.; PARK, K. J.; DEYRMENDJIAN, E. Inulin powder of chicory root extract (*Cichorium intybus* L.) obtained by spray drying. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM IDS2000, 12., 2000, London. **Proceedings...** London: IDS, 2000. 1 CD-ROM.

O'HAGAN, P. et al. Particle size analysis of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 215-246.

OMAR, B. Z.; RAPHAELIDE, S.; KESTELOOT, R. Texture evaluation on French acidtype fresh cheeses. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 26, n. 3, p. 325-338, 1995.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes de alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, 75 p.

ORNELLAS, L. H. **Técnica dietética: seleção e preparo de alimento**. 7. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atheneu, 2001. 320 p.

PAES, M. C. D.; GUIMARÃES, P. E. O.; SCHAFFERT, R. E. Perfil de carotenoide sem linhagens elite de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 26., 2006, Belo Horizonte. **Resumos...** Sete Lagoas: ABMS, 2006. p. 542.

PAIVA JÚNIOR, M. C. Desempenho de cultivares para a produção de milho verde em diferentes épocas e densidades de semeadura em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1235-1247, set./out. 2001.

PANZIANI, S. D. F. et al. Características agronômicas e bromatológicas de híbrido de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 3, p. 411-417, maio/jun. 2009.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, jan./abr. 2001.

PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 3, p. 81-86, 1992.

PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1978. 650 p.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z. et al. Cruzamentos dialélicos de linhagens de milho sob condições de mancha de *Phaeosphaeria*. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 2, p. 313-318, 2000.

PEÑA-RAMOS, E. A.; XIONG, Y. L. Whey and soy protein hydrolysates inhibit lipid oxidation in cooked pork patties. **Meat Science**, Oxford, v. 64, n. 3, p. 259-263, Mar. 2003.

PEREIRA, I. A. F.; CRUZ, J. C. **Cultivares de milho para o consumo verde**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2002. 7 p. (Circular Técnica, 15).

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Colheita, transporte e comercialização do milho-verde. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **O cultivo do milho-verde**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2003. p. 183-194.

QUEIROZ, A. J. D. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. D.; CABRAL, M. F. P. Reologia de suco de cupuaçu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD-ROM.

RAHMAN, M. S.; LABUZA, T. P. Water activity and food preservation. In: RAHMAN, M. S. (Ed.). **Handbook of food preservation**. 2nd ed. New York: CRC, 2007. p. 447-476.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. **Engineering properties of foods**. New York: M. Dekker, 1986. 47 p.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 49, n. 4, p. 311-319, Sept. 2001.

RÉ, M. I. Microencapsulação: em busca de produtos 'inteligentes'. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 162, p. 24-29, 2000.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: E. Blücher, 2004. 184 p.

RODRIGUES, F. et al. Capacidade de combinação entre linhagens de milho visando à produção de milho verde. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 75-84, 2009.

RODRIGUES, R. A. F.; GROSSO, C. R. F. Cashew gum microencapsulation protects the aroma of coffee extracts. **Journal of Microencapsulation**, London, v. 25, n. 1, p. 13-20, 2008.

ROMERO, J.; PERATA, P.; AKAZAWA, T. Sucrose-starch conversion in heterotrophic tissues plants. **Critical Reviews in Plant Science**, Boca Raton, v. 18, n. 4, p. 489-525, 1999.

ROOS, Y. H. **Phase transition in foods**. San Diego: Academic, 1995. 360 p.

SANTOS, A. B.; FERREIRA, V. P.; GROSSO, C. R. F. Microcápsulas: uma alternativa viável: microencapsulação de produtos sensíveis à oxidação: óleo-resina de páprica. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 16, p. 26-30, 2000.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. Caracterização reológica da polpa de jabuticaba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., 2004, Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. 1 CD-ROM.

SAWASAKI, E.; POMMER, C. V.; ISHIMURA, I. Avaliação de cultivares de milho para utilização no estágio de verde. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 31, n. 11, p. 1297-1302, nov. 1979.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering: theory and laboratory experiments**. New York: Wiley-Interscience, 2000. 348 p.

SHEU, T. Y.; ROSENBERG, M. Microencapsulation by spray-drying ethylcaprylate in whey protein and carbohydrate wall systems. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 1, p. 98-103, Feb. 1995.

SILVA, C. V.; BILIA, D. A. C.; BARBEDO, C. J. Fracionamento e germinação de sementes de Eugenia. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 86-92, jan./mar. 2005.

SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Varela, 2000. 227 p.

SILVA, P. S. L.; PATERNIANI, E. Produtividade de “milho verde” e de grãos de cultivares de *Zea mays* L. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 707-712, 1986.

SILVA JÚNIOR, J. O. C. et al. Caracterização físico-química do extrato fluido e seco por nebulização de *Symphytum officinate* L. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 16, p. 671-677, 2006. Suplemento.

SOARES, E. C. et al. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo “foam-mat”. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 164-170, maio/ago. 2001.

TEPPER, B. J.; SHAFFER, S. E.; SHEARER, C. M. Sensory perception on fat in common properties of the mucilage gum (*Opuntia ficusindica*). **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 4, n. 4, p. 417-424, Apr. 1994.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí**: influência das variáveis. 2009. 212 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

TONON, R. V. et al. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açaí (*Euterpeoleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, n. 2, p. 215-221, Feb. 2009.

TORRALLES, R. P. et al. Um estudo para compreender a preferência e aceitação de consumidores de purês de pêssegos brasileiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 397-401, 2006.

TORRES, L. B. D. V. et al. Viscosidades aparentes de polpa de umbu-cajá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD-ROM.

TÓTH, J.; PALLAI-VARSÁNYI, E. Drying of bovine serum albumin on inert particle surface in msb dryer. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 15., 2006, Budapeste. **Proceedings...** Budapeste: IDS, 2006. 1 CD-ROM.

TRAVAGLINI, D. A.; GASPARINO FILHO, J.; AGUIRRE, G. M. Equipamentos de secagem. In: _____. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1999. p. 2-29.

TRUONG, V.; BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Optimization of co-current *spray drying* process of sugar-rich foods: part I, moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 71, n. 1, p. 55-65, Feb. 2005a.

_____. Optimization of co-current *spray drying* process of sugar-rich foods: part II., optimization of *spray drying* process based on glass transition concept. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 71, n. 1, p. 66-72, Feb. 2005b.

TURCHIULI, C. et al. Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 75, n. 1, p. 29-35, Feb. 2005.

VALDUGA, A. T.; BATTESTIN, V.; FINZER, J. R. D. Secagem de extratos de erva-mate em secador por atomização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 184-189, maio/ago. 2003.

VASCONCELOS, E. A. F. et al. Influência da temperatura de secagem e da concentração de Aerosil® 200 nas características dos extratos secos por aspersão da *Schinus terebinthifolius raddi* (Anacardiaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 15, n. 3, p. 243-249, jul./set. 2005.

VILELA, N. J.; HENZ, G. P. Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. **Cadernos de Ciências e Tecnologia**, Brasília, v. 17, n. 1, p. 71-89, jan./abr. 2000.

VISSOTTO, F. Z. et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 3, p. 666-671, jul./set. 2006.

WOLF, W.; SPIESS, W. E. L.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food materials: a bibliography**. New York: Elsevier Science, 1985. 239 p.

WOLKOFF, D. B. **Estudo da estabilidade de repositório hidroeletrólítico formulado à base de sucos clarificados de acerola e caju**. 2004. 194 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

ZHANG, X. W. et al. Desorption isotherms of some vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 70, n. 3, p. 303-306, June 1996.

CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO SOBRE O RENDIMENTO E AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE POLPA DE MILHO VERDE EM PÓ

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal bastante cultivado no Brasil e a sua disponibilidade se restringe à época de safra. Uma das alternativas de processamento é a produção de milho verde em pó, o que permite maior vida de prateleira, além de facilitar o transporte. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência da temperatura de entrada, da vazão de alimentação e da concentração de polpa sobre as características físicas, tamanho e morfologia da partícula. Os ensaios de secagem foram realizados em um secador por atomização de bancada segundo um planejamento experimental 2^3 completo, utilizando um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com vinte tratamentos, sendo seis pontos centrais. Foram avaliadas as seguintes variáveis independentes: temperatura do ar de 143 °C a 177 °C, vazão de alimentação: 0,45 a 0,95 L/h⁻¹ e concentração de polpa de 37% a 53% p/p. O rendimento para polpa de milho verde em pó foi baixo, obtendo-se um valor médio de 36,19%. As propriedades de reconstituição do pó mostraram um valor médio para solubilidade de 94,37 g/100g, umidade de 1,97% e atividade de água de 0,13, o que pode facilitar seu armazenamento e transporte. O diâmetro de partícula do pó apresentou um valor médio de 31,02 µm, e a morfologia com predominância de superfícies rugosas, densidade de 0,79 g/mL e molhabilidade de 128,05 segundos. As condições de secagem por atomização não afetaram a cor de polpa de milho verde em pó, que apresentou tonalidade próxima ao amarelo e com menor grau de intensidade.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Secagem. Propriedades de reconstituição. Morfologia.

ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L.) is cereal greatly cultivated in Brazil and its availability is limited to the crop season. One of the processing alternatives is the production of green corn powder, which allows longer shelf life, in addition to making its transportation easier. The present work was carried out with the purpose of evaluating the influence of the entrance temperature, of the feed flow rate and of the pulp concentration upon the physical characteristics, size and morphology of the particle. The drying assays were undertaken in a bench atomization dryer according to the experimental complete 2^3 design by utilizing a response surface methodology (RSM), with twenty treatments, namely six central points. The following independent variables: air temperature of 143 °C to 177 °C, feed flow rate: 0.45 to 0.95 L/h⁻¹ and pulp concentration of 37% to 53% w/w were evaluated. The output for green corn pulp powder was low; an average value of 36.19% being obtained. The reconstitution properties of the powder showed an average value for solubility of 94.37 g/100g, moisture of 1.97% and water activity of 0.13, which can make its storage and transportation easier. The diameter of powder particle showed a average value of 31.02 μm, and rough surfaces were predominating in particle morphology, density of 0.79 g/mL and wettability of 128.05 seconds. The atomization drying conditions did not affect the color of the green corn pulp powder, which presented hue close to the yellow and with lower intensity degree.

Keywords: *Zea mays* L. Drying. Reconstitution properties. Morphology.

1 INTRODUÇÃO

A comercialização do milho verde é restrita à sua época de safra e sua perecibilidade é alta, sendo necessárias técnicas para viabilizar sua oferta em qualquer época do ano. Além disso, a comercialização é prejudicada pela distância dos mercados consumidores e a sazonalidade, requerendo a utilização de armazenamento e transporte refrigerado de alto custo. Portanto, empregar secagem de polpa de milho verde proporciona a oferta do produto fora dos períodos de safra, facilidade na conservação com menor gasto de energia por não necessitar de ambiente refrigerado, além da versatilidade na sua utilização na formulação de outros produtos, tais como sorvete, sobremesas e produtos de panificação, dentre outros (CAVALCANTI-MATA, 2005; OLIVEIRA et al., 2007; PARK; YADO; BROD, 2001).

O processo de secagem de soluções por atomização é, atualmente, empregado por diversos segmentos indústrias, dentre os quais se destacam as indústrias alimentícias, químicas e farmacêuticas (WIELAND-BERGHAUSEN et al., 2002). Permite um armazenamento prolongado e maior estabilidade e longevidade do produto, de modo a ter maior tempo de vida de prateleira, podendo o consumidor ter acesso a ele durante todo ano e não apenas no período de safra das frutas e vegetais (GRABOWSKI; TRUONG; DAUBERT, 2006). Este secador opera com elevada taxa de produção de sólidos e mantém as características nutricionais do produto devido ao curto tempo de contato do material com o ar aquecido (ANSELMO et al., 2006; AZEREDO, 2005; LANGRISH; FLETCHER, 2001).

As características físicas do produto em pó obtido em um processo de secagem por atomização dependem de algumas variáveis de processo, tais como as características do líquido atomizado (teor de sólidos, tamanho das partículas, viscosidade), a vazão de alimentação, o tipo e o mecanismo de funcionamento

do atomizador e a temperatura de entrada de secagem (BARBOSA-CÁNOVAS; BARLETTA, 1997; CAI; CORKE, 2000; MILLQVIST-FUREBY; ELOFSSON; BERGENSTAHL, 2001; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009). Este processo por atomização oferece rápido contato à temperatura relativamente baixa e diminui o risco de degradar os produtos mais sensíveis ao calor. A rápida evaporação da água permite manter baixa temperatura das partículas, de maneira que a alta temperatura do ar de secagem não afete demasiadamente o produto.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência da temperatura de entrada, da vazão de alimentação e da concentração de polpa sobre as características físicas, tamanho e morfologia de polpa de milho verde.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As metodologias utilizadas neste trabalho são apresentadas a seguir.

2.1 Planejamento experimental

Os ensaios foram realizados de acordo com um planejamento experimental, por delineamento composto central rotacional aplicável à metodologia de superfície de resposta (DCCR), sendo 2^3 completo, com 8 pontos fatoriais, 6 repetições no ponto central e 6 pontos axiais, totalizando 20 ensaios (RODRIGUES; IEMMA, 2009). As variáveis independentes foram: concentração de polpa x_1 (% p/p), temperatura do ar de entrada do equipamento x_2 (°C) e vazão de alimentação x_3 (L.h⁻¹) e seus respectivos níveis, as quais são apresentadas na Tabela 1. As respostas avaliadas foram rendimento (R), umidade (U), atividade de água (a_w), molhabilidade (M), solubilidade (S), densidade (D), ângulo hue (h°), chroma (C*) e tamanho de partículas (D50). Além disso, a morfologia das amostras foi analisada.

Tabela 1 Planejamento experimental (DCCR) de secagem em *spray drying*

Ensaio	Variáveis codificadas			Variáveis reais		
	x_1	x_2	x_3	x_1 (% p/p)	x_2 (°C)	x_3 (L.h ⁻¹)
1	+1	+1	+1	50	170	0,85
2	+1	+1	-1	50	170	0,55
3	+1	-1	-1	50	150	0,55
4	+1	-1	+1	50	150	0,85
5	-1	-1	-1	40	150	0,55
6	-1	-1	+1	40	150	0,85
7	-1	+1	-1	40	170	0,55
8	-1	+1	+1	40	170	0,85
9	0	0	+1,68	45	160	0,95
10	0	0	-1,68	45	160	0,45
11	0	+1,68	0	45	177	0,70
12	0	-1,68	0	45	143	0,70
13	+1,68	0	0	53	160	0,70
14	-1,68	0	0	37	160	0,70
15	0	0	0	45	160	0,70
16	0	0	0	45	160	0,70
17	0	0	0	45	160	0,70
18	0	0	0	45	160	0,70
19	0	0	0	45	160	0,70
20	0	0	0	45	160	0,70

Em que: x_1 : concentração de polpa (% p/p); x_2 : temperatura do ar de entrada do equipamento (°C); x_3 : vazão de alimentação (L.h⁻¹)

Os dados obtidos no planejamento foram ajustados ao seguinte polinômio (Equação 1).

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{33}x_3^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 + \varepsilon \quad (1)$$

em que β_n são os coeficientes de regressão; Y é a resposta analisada (R, U, aw, M, S, D, h°, C* e D50); x_1 , x_2 e x_3 são as variáveis independentes (concentração

de polpa, temperatura do ar de entrada do equipamento e vazão de alimentação) e ϵ erro experimental.

Os resultados foram analisados estatisticamente com o auxílio do *software* Statistic 8.0 (StatSoft, Tulsa, USA).

2.2 Processamento das espigas de milho verde

No processamento da matéria-prima foi utilizado milho verde (*Zea mays* L.) selecionado como milho comum do híbrido AG-1051 colhido na safra 2011, cujos grãos se apresentavam na fase leitosa, em quantidade suficiente para o experimento proposto. As espigas de milho verde foram adquiridas do produtor comercializado no mercado municipal de Lavras, MG. No fluxograma apresentado na Figura 1 encontram-se as etapas de processamento das espigas de milho verde. As espigas foram despalhadas, lavadas e imersas em solução de hipoclorito de sódio, e então despulpadas, embaladas e armazenadas em uma câmara de refrigeração, a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 15 dias. A polpa foi descongelada e diluída com água (% p/p), de acordo com as proporções definidas no planejamento.

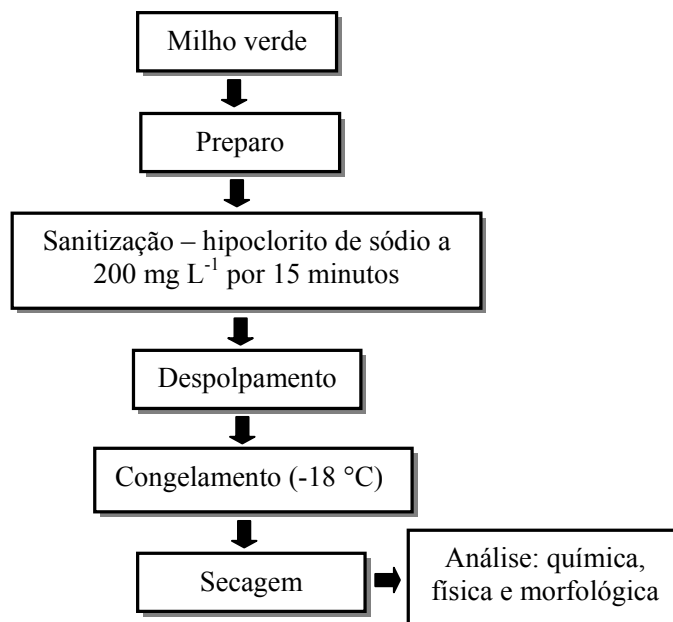


Figura 1 Fluxograma do processamento das espigas de milho verde

2.3 Secagem por atomização ou *spray drying*

A secagem por atomização foi realizada em um secador de bancada da marca Labmaq do Brasil, modelo MSD 1.0 (Ribeirão Preto, Brasil), com bico injetor de 3 mm de diâmetro, fluxo de ar de 40 L/min e pressão do ar de 4,0 bar. A alimentação do secador foi realizada por meio de uma bomba peristáltica, com velocidade de rotação ajustada e a temperatura do ar monitorada, a fim de se observar sua variação em função dos parâmetros adotados na alimentação do secador e as características do produto.

2.4 Métodos analíticos

O rendimento para cada tratamento experimental foi calculado utilizando-se a Equação 2.

$$\eta = \frac{M_p}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

em que η é o rendimento em base seca (%); M_p o total de substância desidratada e M_s a massa seca.

2.4.1 Umidade

A umidade dos pós foi determinada por método gravimétrico, em estufa a 70 °C, segundo AOAC (2000).

2.4.2 Atividade de água

A atividade de água foi medida com o equipamento Aqualab (Decagon modelo 3 TE, USA). As amostras foram de, aproximadamente, 5 g, colocadas em recipientes de plástico, à temperatura 25 °C.

2.4.3 Molhabilidade

O teste de molhabilidade foi baseado na metodologia proposta por Vissotto et al. (2006). Foi determinada medindo-se o tempo necessário com um cronômetro para a completa dissolução de 1 g do produto em 100 mL de água destilada a 25 °C.

2.4.4 Solubilidade

O método de solubilidade seguiu a metodologia proposta por Cano-Chauca et al. (2005). Utilizou-se 1 g do pó em 100 mL de água destilada e homogeneizada. A solução foi transferida para um tubo e centrifugada a 2.600 rpm, por 5 minutos. Uma alíquota (25 mL) do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente pesada e submetida à secagem, a 105 °C.

2.4.5 Densidade

Para a determinação da densidade aparente utilizou-se 1 g do pó em um picnômetro de 25 mL e tolueno como solvente, conforme a metodologia por Lewis (1993).

2.4.6 Cor

As medidas da cor foram realizadas segundo os parâmetros de CIELab, sendo os valores de luminosidade L^* ($L^* = 0$ preto e $L^* = 100$ branco) e da cromaticidade definida por a^* (+ a^* = vermelho e - a^* = verde) e b^* (+ b^* = amarelo e - b^* = azul). Os valores de L^* , a^* e b^* matematicamente combinados permitem calcular as razões a^*/b^* e $(a^*/b^*)^2$. O ângulo hue e Chroma foi calculado segundo as equações $\text{hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$, quando $a^* > 0$ e $b^* > 0$; $\text{hue} = 180 + \tan^{-1}(b^*/a^*)$. A saturação (C^* ou Chroma) define a viracidade (próximo de 60) ou opacidade da cor (próximo de zero) (COLOR GLOSSARY, 2012; KONICA MINOLTA, 2012). $\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (ARIAS et al., 2000).

2.4.7 Tamanho de partícula

A distribuição de tamanho de partículas foi medida usando um laser instrumental de difração de luz, Mastersizer 2000, marca Malvern Instruments, modelo Hydro 2000 UM. A dispersão das partículas foi realizada na unidade de dispersão do equipamento, com uma pequena amostra de pó utilizando 600 mL de isopropanol p.a. O tempo de agitação da solução foi de 15 minutos e foram feitas cinco medidas com intervalos de 10 segundos. A composição granulométrica foi determinada utilizando-se os parâmetros D50 μm , que são os diâmetros equivalentes a 50% do volume acumulado.

2.4.8 Microscopia

O estudo da morfologia foi realizado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras foram fixadas em porta-espécimes metálicas (*stubs*), com fita adesiva de dupla face condutora convencional. Em seguida, foram metalizadas com uma liga de ouro em um evaporador Balzer mod. SCD50, pelo tempo de 75 segundos e corrente de 400 mA, sendo observadas em um microscópio eletrônico de varredura LEO EVO 40.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de rendimento e das propriedades físicas e químicas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Características físicas e químicas de polpa de milho verde em pó, obtida da secagem por atomização

Ensaio	R %	U %	<i>aw</i>	M g/s	S g/100g	D g/mL	h°	C*	D50 µm
1	36,19	2,49	0,18	112,11	93,01	0,65	90,69	13,85	34,27
2	43,19	1,95	0,09	133,77	95,28	0,66	85,40	20,19	19,25
3	37,30	1,65	0,11	151,01	93,55	0,63	91,47	11,72	30,18
4	39,06	2,10	0,14	143,12	93,50	0,63	92,79	13,52	33,19
5	38,01	1,79	0,13	155,28	94,26	0,67	91,28	12,84	28,10
6	34,86	2,39	0,16	141,53	93,05	0,66	92,60	13,78	34,00
7	40,91	1,85	0,10	137,23	92,70	0,68	87,03	18,33	22,48
8	34,13	2,59	0,14	127,64	93,58	0,70	90,67	18,87	27,27
9	32,73	2,45	0,20	130,59	95,44	0,71	92,21	11,91	34,37
10	44,28	1,53	0,11	153,51	95,52	0,66	87,92	16,62	24,63
11	45,13	2,52	0,09	108,80	93,58	0,89	86,87	17,35	37,28
12	37,83	1,49	0,15	159,70	92,52	0,66	91,25	13,30	31,54
13	41,48	2,90	0,14	132,14	94,67	0,92	90,78	13,69	24,73
14	32,17	2,05	0,12	150,50	92,63	0,99	91,39	11,69	25,92
15	27,32	1,50	0,10	101,61	95,34	0,84	89,69	11,41	37,24
16	28,89	1,79	0,13	106,20	96,50	0,92	91,87	11,30	34,96
17	32,92	1,49	0,13	103,64	94,92	1,00	90,76	11,89	37,43
18	32,17	1,65	0,11	105,03	95,45	1,02	90,50	11,55	33,72
19	31,49	1,55	0,12	104,94	95,71	0,91	90,46	12,28	37,36
20	33,72	1,59	0,12	102,66	96,21	0,92	91,29	11,51	32,51

Em que: rendimento (R), umidade (U), atividade de água (*aw*), molhabilidade (M), solubilidade (S), densidade (D), ângulo hue (h°), chroma (C*) e tamanho de partículas (D50 µm)

3.1 Rendimento

O rendimento de polpa de milho verde em pó apresenta valor médio de 36,19%. Segundo Wang e Langrish (2009), o rendimento de um processo de *spray drying* é altamente afetado pela quantidade de material que fica depositado no interior do secador. O baixo rendimento pode ser caracterizado devido à perda considerável do material que fica na parede do equipamento do spray. As dimensões da câmara e as propriedades operacionais de secagem (teor de sólidos, viscosidade e temperatura do ar) afetam significativamente o rendimento (TRUONG; BHANDARI; HOWES, 2005).

Os resultados da análise estatística para variável rendimento estão apresentados na Tabela 3, bem como o nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 3 Coeficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para o rendimento

Fatores	Coeficientes			
	da regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	31,13203	1,054299	29,52864	0,000000*
Polpa (L)	3,43966	1,399004	2,45865	0,033754*
Polpa (Q)	3,44400	1,361887	2,52884	0,029930*
Temperatura (L)	2,55799	1,399004	1,82844	0,097424**
Temperatura (Q)	6,73555	1,361887	4,94575	0,000582*
Vazão (L)	-5,06627	1,399004	-3,62134	0,004679*
Vazão (Q)	4,63193	1,361887	3,40111	0,006758*
Polpa x Temp.	0,21250	1,827891	0,11625	0,909753
Polpa x Vazão	1,17250	1,827891	0,64145	0,535655
Temp. x Vazão	-3,09750	1,827891	-1,69458	0,121018

*significativo, a 5%

**significativo, a 10%

Os fatores mantidos no modelo foram significativos a 5% e a 10%. As significâncias da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância ($p < 0,05$) foram verificadas com aplicação do teste F. A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta rendimento está apresentada no Quadro 1. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 3,28, indicando que o modelo apresentou regressão significativa, a 95% de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 1 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para o rendimento

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	392,4083	6	65,4014	9,5689	0,0004
Resíduo	88,8525	13	6,8348		
Falta de ajuste	58,2076	8	7,2759	1,1871	0,4443
Erro puro	30,6449	5	6,1290		
Total	481,2608	19			

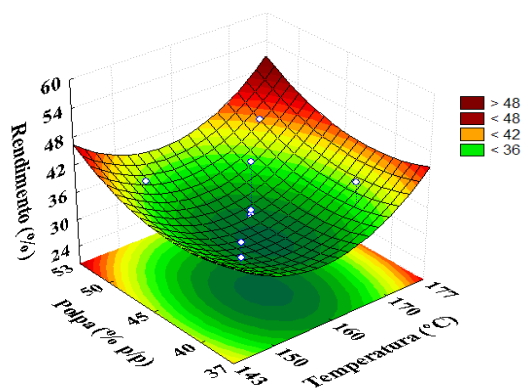
SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável rendimento está dentro dos limites estudados, descrito pela equação 3.

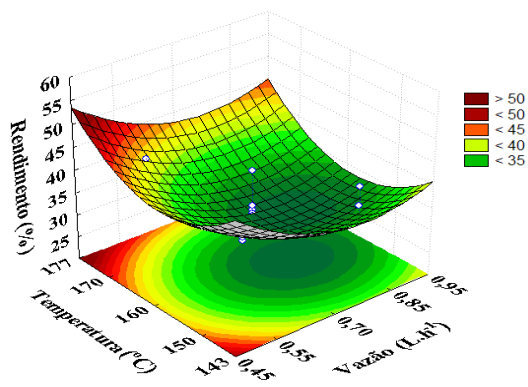
$$R = 31,13 + 3,44 P + 3,44 P^2 + 2,56 T + 6,74 T^2 - 5,07 V + 4,63 V^2 \quad (3)$$

em que P é concentração de polpa (% p/p), T é a temperatura do ar do equipamento (°C) e V é a vazão de alimentação (L.h⁻¹).

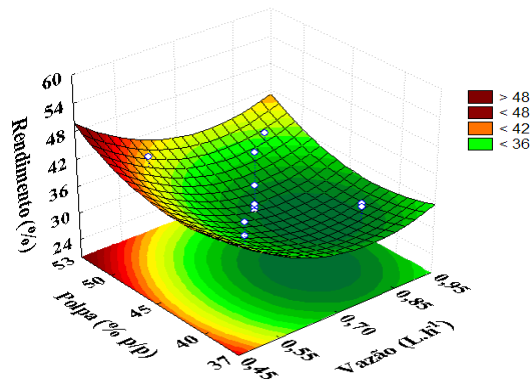
O coeficiente de determinação (R^2) para este modelo foi de 0,8154%, indicando uma moderada correlação, em que 81,54% da variação dos dados podem ser explicados pelo modelo apresentado. No Gráfico 1 são apresentadas as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.



(a)



(b)



(c)

Gráfico 1 Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para o rendimento

A vazão de alimentação apresentou redução no rendimento (Gráfico 1a; 1c), indicando menores valores desta variável maximizam o rendimento. Por outro lado, a concentração de polpa apresentou um aumento, tanto no seu efeito linear quanto quadrático, ou seja, existe um valor desta variável em que o rendimento é mínimo. O aumento da temperatura do ar, a concentração de polpa e a redução da vazão de alimentação a partir deste ponto mínimo aumentaram o rendimento no processo de secagem (Gráfico 1b; 1c).

Observa-se que maiores rendimentos foram obtidos com a aplicação de temperaturas do ar do equipamento próximas de 170 °C a 177 °C, concentração de polpa variando de 50 a 53 (% p/p) e vazão de alimentação próxima de 0,45 a 0,55 L.h⁻¹. De acordo com Goula e Adamopoulos (2005), temperaturas elevadas resultam em partículas mais secas e menos aderentes na parede da câmara de secagem e maior rendimento.

Altas concentrações de polpa de milho verde favoreceram um maior rendimento do processo. Os teores de sólidos totais devem ser ajustados para evitar dificuldades na alimentação do equipamento. Em trabalho conduzido por Fernandes et al. (2008) no encapsulamento de óleo essencial de *Lippia sidoides* por *spray drying*, o conteúdo de sólidos influenciou positivamente o rendimento, verificando-se um aumento de 14% para 57% no rendimento quando o teor de sólidos foi aumentado de 30% para 60%, à temperatura de 160 °C.

3.2 Umidade

A umidade de polpa de milho verde em pó alcançou valores médios de 1,97%. Gomes e Silva (2003) obtiveram teores de umidade variando entre 1,63% a 9,17%, para farinha de feijão, utilizando o processo de secagem por atomização.

Os resultados da análise estatística para a variável umidade são apresentados na Tabela 4, bem como ao nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 4 Coeficientes de regressão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para umidade

Fatores	Coeficientes			
	da regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	1,597889	0,092802	17,21827	0,000000*
Polpa (L)	0,146377	0,123144	1,18867	0,262031
Polpa (Q)	0,584483	0,119877	4,87571	0,000646*
Temperatura (L)	0,392806	0,123144	3,18981	0,009657*
Temperatura (Q)	0,252146	0,119877	2,10338	0,061725**
Vazão (L)	0,567809	0,123144	4,61095	0,000964*
Vazão (Q)	0,241539	0,119877	2,01490	0,071587**
Polpa x Temp.	0,107500	0,160895	0,66814	0,519169
Polpa x Vazão	-0,087500	0,160895	-0,54383	0,598472
Temp. x Vazão	0,057500	0,160895	0,35738	0,728238

*significativo, a 5%

**significativo, a 10%

Os fatores mantidos no modelo foram significativos, a 5% e a 10%. As significâncias da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância ($p < 0,05$) foram verificadas com aplicação do teste F. A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta umidade está apresentada no Quadro 2. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 4,61, indicando que o modelo apresentou regressão significativa, a 95% de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 2 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para umidade

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	3,0965	5	0,6193	13,6339	0,0000
Resíduo	0,6359	14	0,0454		
Falta de ajuste	0,5728	9	0,0636	5,0390	0,0448
Erro puro	0,0632	5	0,0126		
Total	3,732480	19			

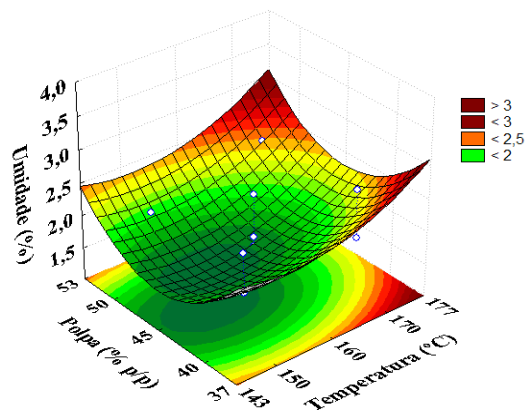
SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável umidade está dentro dos limites estudados, descrito pela equação 4.

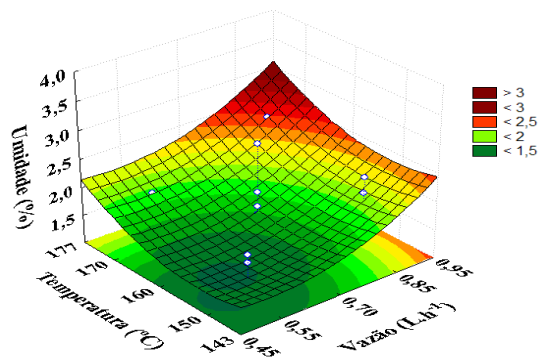
$$U = 1,60 + 0,29 P^2 + 0,20 T + 0,13 T^2 + 0,28 V + 0,12 V^2 \quad (4)$$

em que P é a concentração de polpa (% p/p), T é a temperatura do ar de entrada do equipamento (°C) e V é a vazão de alimentação.

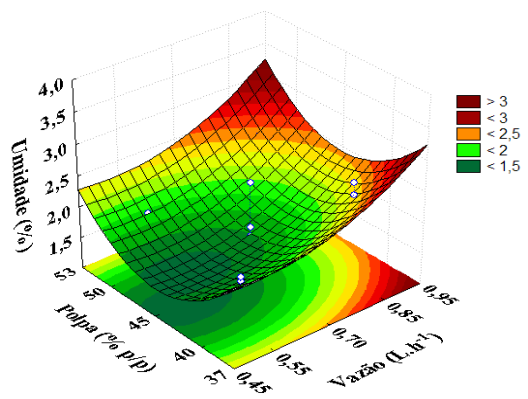
O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi 0,8296, indicando boa correlação, em que 82,96% da variação dos dados podem ser explicados pelo modelo. No Gráfico 2 apresentam-se as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.



(a)



(b)



(c)

Gráfico 2 Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para umidade

Com o aumento da temperatura do ar de secagem ocorreu diminuição no teor de umidade, alcançando a temperatura próxima a 150 °C, em que o teor de umidade apresentou um valor de 1,5% (Gráfico 2a). À temperatura acima desta faixa (entre 160 °C a 177 °C) ocorreu um aumento de umidade devido, provavelmente, à formação de uma crosta externa sólida durante a evaporação rápida da água em temperaturas mais altas, o que teria dificultado a saída de água. Tonon et al. (2009) observaram a influência significativa em altas temperaturas do ar de entrada sobre a umidade de suco de açaí em pó obtido por atomização. Nesse estudo, os autores obtiveram pós com teor de umidade na faixa de 0,64% a 2,89% utilizando-se temperaturas de secagem entre 138 °C a 202 °C.

A vazão de alimentação entre 0,45 a 0,55 L.h⁻¹ resultaram em menores valores de umidade próximos de 1,5% e seu aumento resultou em maiores valores de umidade (3,0%) (Gráfico 2b). Ramos, Silva e Finzer (2005) verificaram a influencia da vazão de alimentação sobre umidade da pasta de amido em leito de jorro. Estes autores obtiveram pós com um teor de umidade entre 2,30% a 13,5%, utilizando um aumento da vazão de alimentação de 0,90 para 1,35 L.h⁻¹. O comportamento verificado é similar aos encontrados para polpa de açaí (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008) e suco de laranja (CHEGINI; GHOBADIAN, 2005).

A concentração de polpa nas proximidades de 45% levou à redução do teor de umidade (Gráfico 2c). Grabowski, Truong e Daubert (2008), utilizando diferentes concentrações de maltodextrina na secagem por atomização de purê de batata-doce, observaram que maiores concentrações de sólidos na alimentação levaram à produção de pós com menor umidade. Nestes casos, o aumento do conteúdo de sólidos na alimentação do processo reduz a quantidade de água disponível para evaporação, resultando em um pó mais seco. Por outro lado, durante a secagem de polpa de tomate, utilizando maltodextrina como agente carreador, Goula e Adamopoulos (2008) reportaram que a umidade do pó

aumentou com o aumento da concentração de sólidos, o que poderia ser atribuído à menor temperatura do ar de secagem.

3.3 Atividade de água

Os valores de atividade de água nos pós apresentaram valores baixo de 0,20, indicando que estes produtos são teoricamente produtos estáveis, pois possuem pouca quantidade de água disponível para o crescimento de microrganismos e reações bioquímicas e, portanto, maior vida de prateleira (FELLOWS, 2000; FENNEMA, 1996). A atividade de água apresentou valor médio de 0,13, o que está dentro dos limites das condições estudadas.

Os resultados da análise estatística para a variável atividade de água são apresentados na Tabela 5, bem como o nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 5 Coeficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para atividade de água

Fatores	Coeficientes da regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	0,118487	0,005662	20,92565	0,000000*
Polpa (L)	0,003461	0,007514	0,46069	0,654880
Polpa (Q)	0,006240	0,007314	0,85316	0,413538
Temperatura (L)	-0,019171	0,007514	-2,55151	0,028789*
Temperatura (Q)	-0,000831	0,007314	-0,11358	0,911816
Vazão (L)	0,049991	0,007514	6,65344	0,000057*
Vazão (Q)	0,023918	0,007314	3,27003	0,008430*
Polpa x Temp.	0,017500	0,009817	1,78263	0,104978
Polpa x Vazão	0,012500	0,009817	1,27330	0,231712
Temp. x Vazão	0,017500	0,009817	1,78263	0,104978

*significativo, a 5%

Os fatores mantidos no modelo foram significativos a 5%. As significâncias da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância ($p < 0,05$) foram verificadas com aplicação do teste F. A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta atividade de água está apresentada no Quadro 3. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 5,32, indicando que o modelo apresentou regressão significativa, a 95 % de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 3 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	0,0118	3	0,0040	17,2257	0,0000
Resíduo	0,0036	16	0,0002		
Falta de ajuste	0,0030	11	0,0003	1,9759	0,2338
Erro puro	0,0007	5	0,0001		
Total	0,015455	19			

SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável atividade de água está dentro dos limites estudados, descrito pela equação 5.

$$aw = 0,12 - 0,02 T + 0,05 V + 0,02 V^2 \quad (5)$$

em que T é a temperatura do ar de entrada do equipamento (°C) e V é a vazão de alimentação.

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi 0,7636, indicando boa correlação, em que 76,36% da variação dos dados podem ser explicadas pelo modelo apresentado. No Gráfico 3 são apresentadas as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.

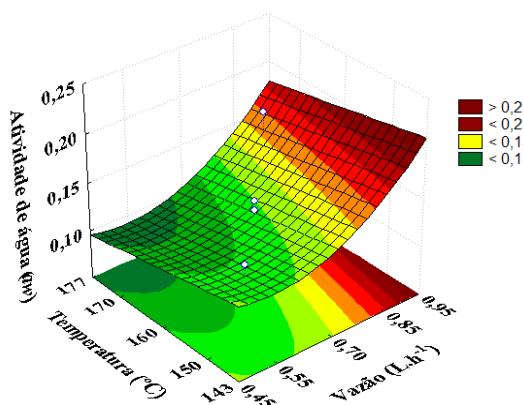


Gráfico 3 Superfície de resposta de polpa de milho verde em pó para atividade de água

A temperatura do ar de secagem apresentou redução para a variável atividade de água, indicando um aumento da temperatura resulta em menor valor de atividade de água. A vazão de alimentação apresentou um aumento, tanto efeito linear quanto quadrático, ou seja, existe um valor mínimo em que ocorre um aumento da atividade de água. Quando se trabalha com vazão de alimentação menor que $0,45 \text{ L.h}^{-1}$, o aumento da temperatura reduz a atividade de água. A aplicação de alta vazão, entre $0,85$ a $0,95 \text{ L.h}^{-1}$, favorece a produção de pós com maior atividade de água entre $0,18$ a $0,20$. Este fato pode ser explicado pela quantidade de massa dentro da câmara de secagem com o aumento da vazão de alimentação, o que dificulta o processo pela remoção de água e mantém a atividade de água em valores mais altos. Em altas temperaturas de secagem produzem-se pós com menor atividade de água. Verificou-se que, em baixos valores da vazão de alimentação, a variação da temperatura nos limites estudados entre $143 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $177 \text{ }^{\circ}\text{C}$ reduz a atividade de água de $0,17$ a $0,06$. Os resultados obtidos são semelhantes aos encontrados por Tonon et al. (2009), na secagem de suco de açaí por atomização utilizando maltodextrina,

que obtiveram pós com atividade de água próximas a 0,23, na temperatura de secagem a 140 °C.

3.4 Molhabilidade

A molhabilidade pode ser caracterizada pela susceptibilidade das partículas a serem penetradas pela água, a qual está relacionada tanto à composição química do alimento quanto aos fatores físicos (TONON et al., 2009). Os resultados da análise estatística para a variável molhabilidade estão apresentados na Tabela 6, bem como o nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 6 Coeficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para molhabilidade

Fatores	Coeficientes			
	da regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	104,1305	1,861723	55,93235	0,000000*
Polpa (L)	-7,6954	2,470416	-3,11503	0,010966*
Polpa (Q)	24,8476	2,404872	10,33219	0,000001*
Temperatura (L)	-24,2798	2,470416	-9,82823	0,000002*
Temperatura (Q)	19,8484	2,404872	8,25340	0,000009*
Vazão (L)	-13,3906	2,470416	-5,42037	0,000293*
Vazão (Q)	25,3638	2,404872	10,54683	0,000001*
Polpa x Temp.	-4,0775	3,227760	-1,26326	0,235154
Polpa x Vazão	-1,5525	3,227760	-0,48098	0,640878
Temp. x Vazão	-2,4025	3,227760	-0,74432	0,473808

*significativo, a 5%

As significâncias da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância ($p < 0,05$) foram verificadas com aplicação do teste F. A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta molhabilidade é apresentada no Quadro 4. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 22,49, indicando que o modelo apresentou regressão significativa, a 95% de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 4 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para molhabilidade

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	7819,3747	6	1303,229	65,6703	0,0000
Resíduo	257,985	13	19,8450		
Falta de ajuste	243,565	8	30,446	10,5562	0,0094
Erro puro	14,421	5	2,884		
Resíduo	8077,360	19			

SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável molhabilidade está dentro dos limites estudados, descrito pela equação 6.

$$M = 104,13 - 7,70 P + 24,85 P^2 - 24,28 T + 19,85 T^2 - 13,39 V + 25,36 V^2 \quad (6)$$

em que P é a concentração da polpa (% p/p), T é a temperatura do ar de entrada do equipamento ($^{\circ}\text{C}$) e V é a vazão de alimentação (L.h^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) para este modelo foi de 0,9681, indicando boa correlação, em que 96,81% da variação dos dados podem ser explicadas pelo modelo apresentado. No Gráfico 4 apresentam-se as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.

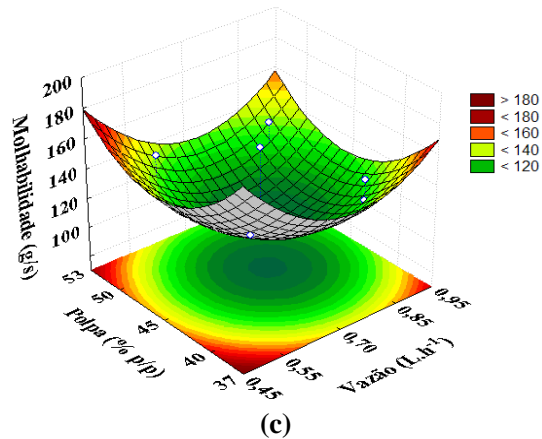
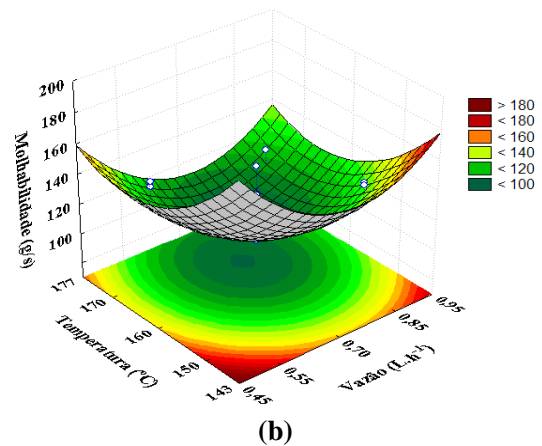
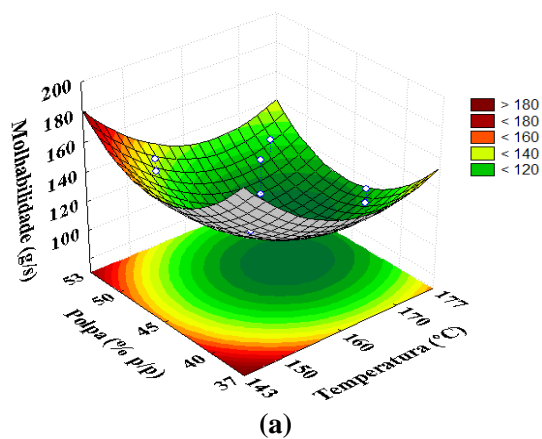


Gráfico 4 Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para molhabilidade

Verifica-se que, para as três variáveis estudadas (Gráfico 4), os efeitos lineares foram menores e os efeitos quadráticos foram maiores. Este fato indica que foram encontrados valores das variáveis independentes que fornecem tempos mínimos para a molhabilidade, sendo que, a partir deste ponto, uma variação no sentido de aumentar ou diminuir a grandeza destas variáveis permite um aumento no tempo de molhabilidade. Observa-se que existe uma tendência de que a molhabilidade seja caracterizada por um tempo maior quando se diminuem os valores das variáveis independentes (menores efeitos lineares). O menor tempo de molhabilidade ocorreu quando trabalhou-se com concentração de polpa, temperatura do ar e vazão de alimentação próximas, respectivamente, a 45% p/p, 165 °C e 0,70 L.h⁻¹. Neste caso, o tempo encontrado foi de, aproximadamente, 100 segundos. Verificou-se, em baixos valores da temperatura do ar de 143-150 °C e vazão de alimentação de 37-50 % p/p, um aumento no valor de molhabilidade, podendo chegar a valores estimados de 220 segundos.

De acordo com Bhandari et al. (1993), as propriedades de molhabilidade dos pós em baixa temperatura são melhores do que os obtidos em temperaturas mais elevadas. Schubert (1993) reportaram que a dispersão de um pó em um líquido envolve a molhabilidade, imergibilidade, dispersibilidade e solubilidade que é propriedades de instantaneização. Segundo os autores, para um pó com boas propriedades de instantaneidade, esses passos devem ocorrer em poucos segundos.

Os valores de molhabilidade (ou tempo de instantaneização) dos pós alcançaram, em média, 128,05 segundos. Jinapong, Suphantharika e Jamnong (2008) obtiveram pós de extrato proteico de soja por meio da secagem por atomização com valores de molhabilidade variando de 60 a 300 segundos, sem utilização de carreadores.

3.5 Solubilidade

A solubilidade é um dos parâmetros utilizados para verificar a dissolução do pó (MAIA; GOLGHER, 1983). Os resultados da análise estatística para a variável solubilidade são apresentados na Tabela 7, bem como o nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 7 Coeficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para solubilidade

Fatores	Coeficientes da regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	95,69947	0,302194	316,6821	0,000000*
Polpa (L)	0,75872	0,400997	1,8921	0,087761**
Polpa (Q)	-1,58691	0,390358	-4,0653	0,002267*
Temperatura (L)	0,29182	0,400997	0,7277	0,483460
Temperatura (Q)	-2,01117	0,390358	-5,1521	0,000430*
Vazão (L)	-0,40779	0,400997	-1,0169	0,333159
Vazão (Q)	-0,29291	0,390358	-0,7504	0,470319
Polpa x Temp.	0,56750	0,523929	1,0832	0,304162
Polpa x Vazão	-0,49750	0,523929	-0,9496	0,364721
Temp. x Vazão	-0,03250	0,523929	-0,0620	0,951760

*significativo, a 5%

**significativo, a 10%

Os fatores mantidos no modelo foram significativos, a 5% e a 10%. As significâncias da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância ($p < 0,05$) foram verificadas com aplicação do teste F. A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta solubilidade é apresentada no Quadro 5. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 4,90, indicando que o modelo apresentou regressão significativa, a 95% de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 5 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para solubilidade

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	23,2351	3	7,7450	15,8895	0,0000
Resíduo	7,7989	16	0,4874		
Falta de ajuste	6,0990	11	0,5545	1,6309	0,3075
Erro puro	1,6999	5	0,3399		
Total	31,03398	19			

SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável solubilidade está dentro dos limites estudados, descrito pela equação 7.

$$S = 95,58 + 0,76 P - 1,56 P^2 - 1,98 T^2 \quad (7)$$

em que P é a concentração de polpa (% p/p) e T é a temperatura do ar de entrada do equipamento (°C).

O coeficiente de determinação (R^2) para este modelo foi 0,7487, indicando moderada correlação, em que 74,87% da variação dos dados podem ser explicados pelo modelo apresentado. No Gráfico 5 apresentam-se as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.

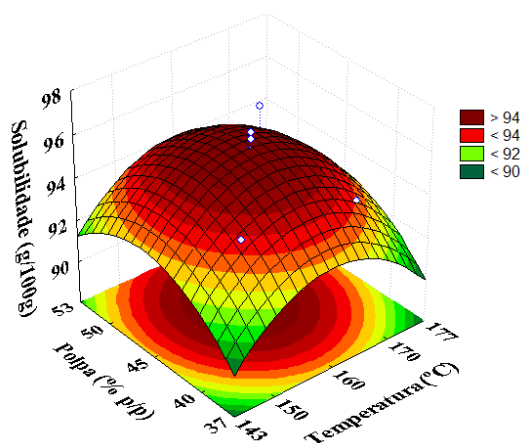


Gráfico 5 Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para solubilidade

Existe um valor máximo destas variáveis (concentração de polpa e temperatura), em que ocorre uma diminuição nos valores de solubilidade. Nos resultados obtidos para a variável solubilidade dos pós, o valor máximo estimado foi de, aproximadamente, 96 g/100 g, quando se utilizaram valores de temperatura do ar e concentração de polpa de, aproximadamente, 47 % p/p e 160 °C, respectivamente. Valores baixos de concentração de polpa (próximos ao limite estudado de 37 % p/p) tendem a reduzir a solubilidade dos pós, principalmente quando se aplicam temperaturas baixas. Para este caso, o valor estimado da solubilidade foi de, aproximadamente, 88 g/100 g.

Observou-se que, quando se aumenta a concentração de polpa (aumenta os sólidos totais na alimentação), também ocorre redução na solubilidade. A solubilidade dos pós apresentou valor médio de 94,37 g/100 g. Os valores encontrados neste trabalho foram semelhantes aos encontrados por Cano-Chauca et al. (2005), que foi em torno de 91,27% a 96,41%, no estudo da solubilidade de suco de manga em pó obtido na temperatura de secagem 150 °C. Já Abadio et

al. (2004), trabalhando com suco de abacaxi, encontraram em torno de 81,56% à temperatura de 190 °C.

3.6 Densidade

A densidade do pó é uma característica importante para o armazenamento, o processamento, o empacotamento e a distribuição do produto (BHANDARI; HARTEL, 2005). Os resultados da análise estatística para a variável densidade são apresentados na Tabela 8, bem como o nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 8 Coeficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para densidade

Fatores	Coeficientes			
	da regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	0,939144	0,037799	24,84562	0,000000*
Polpa (L)	-0,027492	0,050158	-0,54811	0,595642
Polpa (Q)	-0,040034	0,048827	-0,81991	0,431377
Temperatura (L)	0,069828	0,050158	1,39216	0,194057
Temperatura (Q)	-0,167312	0,048827	-3,42663	0,006475*
Vazão (L)	0,016708	0,050158	0,33311	0,745930
Vazão (Q)	-0,230951	0,048827	-4,72999	0,000804*
Polpa x Temp.	-0,002500	0,065534	-0,03815	0,970321
Polpa x Vazão	0,002500	0,065534	0,03815	0,970321
Temp. x Vazão	0,012500	0,065534	0,19074	0,852546

*significativo em nível de 5%

A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta densidade é apresentada no Quadro 6. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 5,54, indicando que o modelo apresentou regressão significativa, a 95% de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 6 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para densidade

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	0,2623	2	0,1312	19,8740	0,0000
Resíduo	0,1122	17	0,0007		
Falta de ajuste	0,0906	12	0,0076	1,7525	0,2784
Erro puro	0,0216	5	0,0043		
Total	0,374495	19			

SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável densidade está dentro dos limites estudados, descrito pela equação 8.

$$D = 0,92 - 0,16 T^2 - 0,23 V^2 \quad (8)$$

em que T é a temperatura do ar de entrada do equipamento ($^{\circ}\text{C}$) e V é a vazão de alimentação (Lh^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) para este modelo foi de 0,7004, indicando moderada correlação, em que 70,04% da variação dos dados podem ser explicados pelo modelo apresentado. No Gráfico 6 apresentam-se as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.

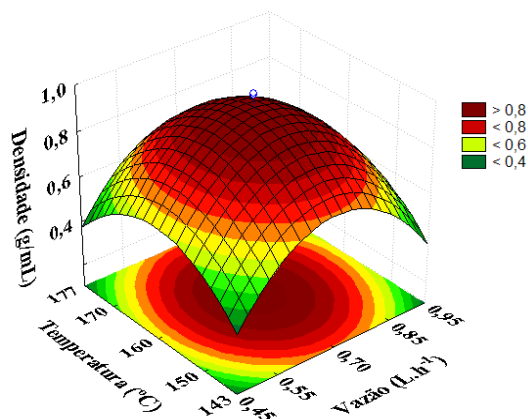


Gráfico 6 Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para densidade

A densidade encontrada para a polpa de milho verde em pó apresentou valor médio de 0,79 g/mL, quando se utilizaram valores de temperatura do ar e vazão de alimentação, aproximadamente, 160 °C e 0,70 L.h⁻¹, respectivamente. No entanto, fora desta faixa, ocorrerá uma diminuição da densidade. Os valores obtidos encontram-se na faixa verificada por Borges et al. (2002), para suco de frutas tropicais desidratado por *spray drying*, que variaram de 0,35 a 2,47 g/mL, respectivamente, obtido na temperatura de secagem 90 °C.

3.7 Cor

Os pós de polpa de milho verde apresentaram valores médios de 90,35° para o ângulo hue, o que está de acordo com o parâmetro h° (tom), pois valor de h° igual a 90 indica tonalidade amarela.

Os resultados da análise estatística para variável do ângulo h° são apresentados na Tabela 9, bem como o nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 9 Coeficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para ângulo h°

Fatores	Coeficientes de regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	90,75478	0,264346	343,3187	0,000000*
Polpa (L)	-0,33037	0,350774	-0,9418	0,368478
Polpa (Q)	0,31861	0,341467	0,9331	0,372771
Temperatura (L)	-3,18026	0,350774	-9,0664	0,000004*
Temperatura (Q)	-1,11327	0,341467	-3,2603	0,008570*
Vazão (L)	2,75098	0,350774	7,8426	0,000014*
Vazão (Q)	-0,40263	0,341467	-1,1791	0,265640
Polpa x Temp.	-0,49750	0,458309	-1,0855	0,303169
Polpa x Vazão	0,41250	0,458309	0,9000	0,389255
Temp. x Vazão	1,57250	0,458309	3,4311	0,006427*

*significativo, a 5%

As significâncias da regressão e da falta de ajuste, a 5% de significância ($p < 0,05$), foram verificadas com aplicação do teste F. A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta ângulo h° é apresentada no Quadro 7. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 13,24, indicando que o modelo apresentou regressão significativa, a 95% de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 7 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para ângulo h°

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	69,8008	4	17,4502	40,5136	0,0000
Resíduo	6,4609	15	0,4307		
Falta de ajuste	3,6454	10	0,3645	0,6474	0,7392
Erro puro	2,8155	5	0,5631		
Total	76,26168	19			

SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável ângulo h° está dentro dos limites estudados e é descrito pela equação 9.

$$h^\circ = 90,72 - 3,18 T - 1,11 T^2 - 2,75 V + 1,57 TV \quad (9)$$

em que T é a temperatura do ar de entrada do equipamento ($^\circ\text{C}$); V é a vazão de alimentação (L.h^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) para este modelo foi de 0,9152, indicando boa correlação, em que 91,52% da variação dos dados podem ser explicados pelo modelo apresentado. No Gráfico 7 apresentam-se as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.

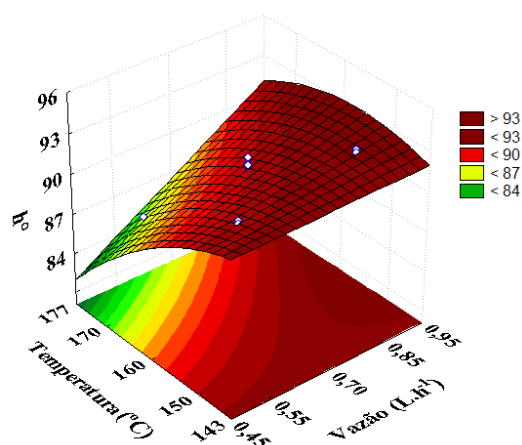


Gráfico 7 Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para ângulo h°

Observa-se que o aumento da temperatura do ar e a redução da vazão de alimentação apresentou uma diminuição do ângulo h° . Com o aumento da vazão de alimentação em temperaturas elevadas, resultou menor valor para o ângulo h° o que indica que o processo de secagem apresentou uma tonalidade considerada do pó. Verificou-se que a coloração do pó aplicada a temperatura $160\text{ }^\circ\text{C}$ e vazão de alimentação $0,45\text{ Lh}^{-1}$ alcançou um ângulo de $87,92^\circ$. Os resultados obtidos por Larrosa, Muszinski e Pinto (2011), no estudo de secagem em leito de jorro para pasta de vegetais *in natura*, foram próximos de $71,80^\circ$, utilizando temperatura de $105\text{ }^\circ\text{C}$.

O índice C^* , que indica a saturação ou a pureza da cor, apresentou valores médios de 13,88%. Uma cor pode apresentar característica de saturação C^* (próximo de 60) ou opacidade da cor (próximo de zero). Observou-se que os pós apresentaram intensidade da cor opaca. As alterações na cor durante o processamento térmico de alimentos vegetais podem causar alterações na intensidade, devido à degradação dos pigmentos presentes e à sua estrutura química (STREIT et al., 2005).

Os resultados da análise estatística para variável do índice C* são apresentados na Tabela 10, bem como o nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 10 Coeficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para índice C*

Fatores	Coeficientes da regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	11,61966	0,647142	17,95535	0,000000*
Polpa (L)	-0,17228	0,858726	-0,20062	0,845016
Polpa (Q)	1,21449	0,835942	1,45284	0,176915
Temperatura (L)	3,83561	0,858726	4,46663	0,001204*
Temperatura (Q)	3,07770	0,835942	3,68172	0,004234*
Vazão (L)	-1,60817	0,858726	-1,87273	0,090600**
Vazão (Q)	2,32818	0,835942	2,78509	0,019282*
Polpa x Temp.	-0,44500	1,121981	-0,39662	0,699980
Polpa x Vazão	-1,50500	1,121981	-1,34138	0,209466
Temp. x Vazão	-2,13500	1,121981	-1,90288	0,086211**

*significativo, a 5%

**significativo, a 10%

Os fatores mantidos no modelo foram significativos, a 5% e a 10%. As significâncias da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância ($p < 0,05$) foram verificadas com aplicação do teste F. A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta índice C* é apresentada no Quadro 8. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 3,03, indicando que o modelo apresentou regressão significativa, a 95% de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 8 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para índice C*

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	113,809	5	22,7618	8,9718	0,0005
Resíduo	35,5185	14	2,5370		
Falta de ajuste	34,8545	9	3,8727	29,1650	0,0008
Erro puro	0,6639	5	0,1328		
Total	149,3276	19			

SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável índice C* está dentro dos limites estudados e é descrito pela equação 5.

$$C^* = 12,12 + 3,84 T + 2,96 T^2 - 1,61 V + 2,21 V^2 - 2,14 TV \quad (10)$$

em que T é a temperatura do ar de entrada do equipamento (°C) e V é a vazão de alimentação (L.h⁻¹).

O coeficiente de determinação (R²) para este modelo foi de 0,7621, indicando moderada correlação, em que 76,21% da variação dos dados podem ser explicados pelo modelo apresentado. No Gráfico 8 apresentam-se as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.

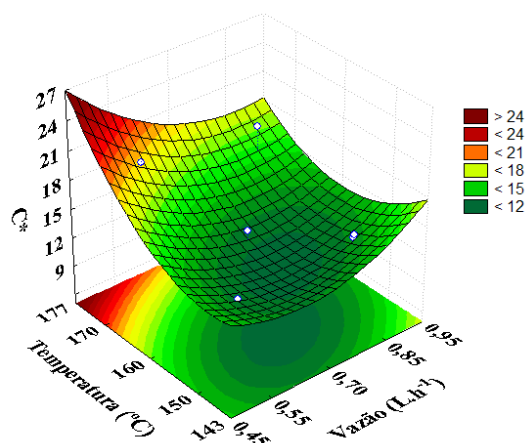


Gráfico 8 Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para índice C*

A temperatura exerceu efeito tanto linear quanto quadrático, ou seja, existe um valor mínimo onde ocorre um aumento desta variável. No entanto, a variável linear foi significativa em altas temperaturas, indicando um aumento do índice C. Em relação à coloração, à temperatura do ar próxima a 155 °C e vazão de alimentação 0,70 Lh⁻¹, a intensidade de cor foi mais fraca (aspecto fosco) e sob temperaturas mais altas, próximas a 177 °C, o pó tinha cor mais forte (cores vivas).

A vazão de alimentação apresentou uma redução para a variável do índice C, indicando que um aumento na vazão de alimentação provocaria uma diminuição no valor do índice C. Os resultados obtidos para Chroma indicam que a polpa de milho verde em pó apresentou intensidade de cor clara, muito próxima ao branco. Estas características foram observadas por Rodrigues et al. (2009) na comercialização de espigas de milho verde, tendo sido constatado que uma coloração de creme a amarelo claro é a preferida pelos consumidores.

3.8 Tamanho de partícula

Um dos mais importantes parâmetros físicos a serem considerados no produto em pó é o tamanho das partículas. O controle desta propriedade está diretamente relacionado as variáveis do processo (BHANDARI; HARTEL, 2005; O'HAGAN et al., 2005). Os resultados da análise estatística para variável tamanho da partícula estão apresentados na Tabela 11, bem como o nível de significância em que os fatores foram considerados significativos.

Tabela 11 Coeficientes de regressão, erro padrão, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator do modelo codificado para tamanho de partícula D50 μm

Fatores	Coeficientes			
	da regressão	Erro padrão	t(10)	p-valor
Média	35,56253	1,398202	25,43448	0,000000*
Polpa (L)	0,44500	1,855346	0,23985	0,815294
Polpa (Q)	-7,55883	1,806121	-4,18512	0,001872*
Temperatura (L)	-1,83738	1,855346	-0,99032	0,345376
Temperatura (Q)	-1,13482	1,806121	-0,62832	0,543878
Vazão (L)	6,60483	1,855346	3,55989	0,005182*
Vazão (Q)	-4,60668	1,806121	-2,55060	0,028835*
Polpa x Temp.	0,62500	2,424131	0,25782	0,801771
Polpa x Vazão	1,83500	2,424131	0,75697	0,466527
Temp. x Vazão	2,72500	2,424131	1,12411	0,287224

*significativo, a 5%

As significâncias da regressão e da falta de ajuste, a 5% de significância ($p < 0,05$), foram verificadas com aplicação do teste F. A análise de variância (ANOVA) para o modelo ajustado para a resposta do tamanho de partícula é apresentada no Quadro 9. A razão $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ foi 4,25, indicando que o

modelo apresentou regressão significativa, a 95% de confiança. Verificou-se que a falta de ajuste foi significativa, a 5% de significância.

Quadro 9 Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para tamanho de partícula D50 μm

	SQ	GL	QM	F	p-valor
Regressão	404,2658	3	134,7553	13,7560	0,0001
Resíduo	156,7374	16	9,7961		
Falta de ajuste	134,1333	11	12,1939	2,6973	0,1416
Erro puro	22,6041	5	4,5208		
Total	561,0033	19			

SQ = soma de quadrados, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio

O modelo codificado para a variável do tamanho de partícula está dentro dos limites estudados e é descrito pela equação 11.

$$TP = 35,10 - 7,45 P^2 + 6,60 V - 4,49 V^2 \quad (11)$$

em que P é a concentração de polpa (% p/p) e V é a vazão de alimentação (L.h^{-1}).

O coeficiente de determinação (R^2) para este modelo foi de 0,7206, indicando boa correlação, em que 72,06% da variação dos dados podem ser explicados pelo modelo apresentado. No Gráfico 9 apresentam-se as superfícies de resposta construídas a partir do modelo proposto.

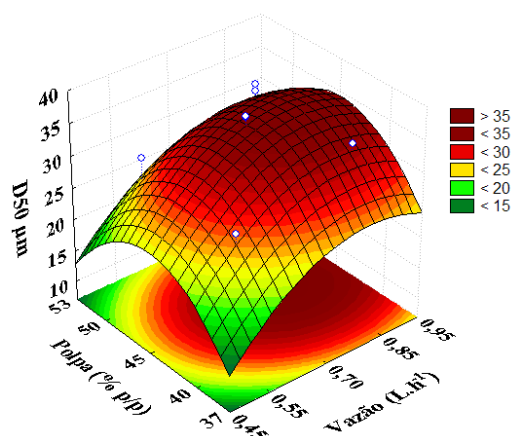


Gráfico 9 Superfícies de respostas de polpa de milho verde em pó para tamanho de partícula D50 µm

O tamanho de partícula de polpa de milho verde em pó apresentou valor médio de 31,02 µm. Este tamanho de partícula está dentro da faixa produzida por atomização, que é de 5 a 150 µm (SANTOS; FÁVARO-TRINDADE; GROSSO, 2005; THIES, 2001). Franco et al. (2001) relataram que amidos de milho apresentam tamanho de partículas na faixa de 3,0 a 23,0 µm. Verificou-se que este tamanho de partícula poderia prevalecer, caso não fosse influenciado pela concentração de polpa e a pressão do bico (fluxo de ar), resultando em uma formação de diâmetros maiores do pó atomizado (GOULA; ADAMOPOULOS, 2004). Existe um valor máximo para as variáveis independentes no qual ocorre um aumento dos valores do tamanho de partícula. Para o sistema de secagem por atomização, o tamanho das partículas secas depende do tamanho das gotículas atomizadas no secador. Quanto maior a viscosidade, maiores são as gotas formadas durante a atomização, resultando em maiores partículas do pó. Um maior tamanho de partícula é obtido por meio da concentração de polpa e vazão de alimentação intermediária de 45 % p/p e 0,70 Lh⁻¹, respectivamente.

3.9 Morfologia das partículas

As partículas produzidas com diferentes variações de processo de secagem apresentaram características morfológicas parcialmente semelhantes. De modo geral, as partículas apresentaram formato esférico, o que é característico das partículas produzidas pelo processo de secagem por *spray drying*. As superfícies das partículas apresentaram-se levemente rugosas, embora a maioria tenha apresentado superfície completamente lisa.

Observam-se, na Figura 2, as imagens correspondentes às partículas produzidas em diferentes temperaturas (150 °C a 170 °C). O aumento na temperatura propiciou a formação de partículas de superfície mais lisa quando comparado aos tratamentos de menor temperatura, nos quais se observou a predominância de superfícies rugosas.

A vazão de alimentação não apresentou efeitos visualmente significativos para análise, pois o tratamento da Figura 2.b, apesar da baixa vazão de alimentação, obteve partículas de superfícies lisas, comparado ao tratamento da Figura 2.a, ou seja, os tratamentos apresentaram semelhanças, independentemente da vazão de alimentação. Resultado semelhante foi observado no trabalho de Tonon et al. (2009), no qual realizou-se a secagem de suco de açaí, tendo sido obtidos melhores resultados em partículas lisas para a morfologia com o aumento na temperatura de 138 °C para 170 °C.

Segundo Thies (2001), as depressões que aparecem na superfície das partículas são formadas devido à contração dessas partículas durante a secagem e o resfriamento. Não foi verificada a ocorrência de rachaduras nas superfícies, de forma geral. Observou-se, nos tratamentos, tendência à formação de aglomerados, o que também é relativamente comum em pó produzido por atomização (ALVIM, 2005; BAKAN, 1973; BHANDARI et al., 1992; CHAMBI et al., 2008).

Verifica-se que os tratamentos apresentaram polidispersidade (variação no tamanho) entre as partículas produzidas. A alta polidispersidade é uma característica de partículas obtidas da secagem por atomização, pois, durante a pulverização, a gota formada não apresenta tamanhos uniformes.

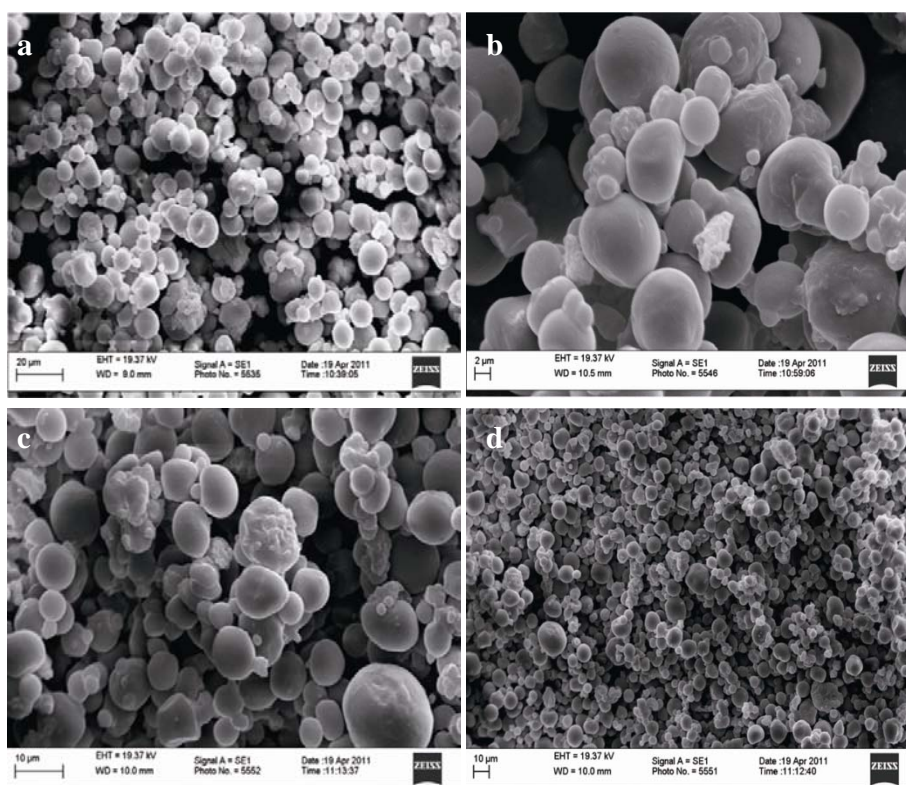


Figura 2 Imagens morfológicas de polpa de milho verde em pó produzidas nas condições: (a) 50 % p/p, 170°C, 0,85 L.h⁻¹; (b) 50 % p/p, 170°C, 0,55 L.h⁻¹ (c) 50 % p/p, 150°C, 0,55 L.h⁻¹ (d) 45 % p/p, 160°C, 0,70 L.h⁻¹

4 CONCLUSÕES

- a) o rendimento do processo de secagem por atomização foi baixo, apresentando valor médio de 36,19%. A utilização de carreadores pode ser uma alternativa para aumentar este rendimento;
- b) a polpa de milho verde em pó obtido pelo processo por atomização apresentou propriedades de reconstituição com valor médio para solubilidade de 94,37 g/100g, umidade de 1,97% e atividade de água de 0,13, as quais facilitam seu armazenamento e transporte. O diâmetro de partícula apresentou valor médio de 31,02 μm , com predominância de superfícies rugosas na morfologia, densidade de 0,79 g/mL e molhabilidade de 128,05 segundos;
- c) as condições de secagem por atomização não tiveram efeito na polpa de milho verde em pó, que apresentou tonalidade próxima ao amarelo e com menor grau de intensidade;
- d) as condições de secagem de temperatura do ar de 150 °C, vazão de alimentação de 0,85 Lh⁻¹ e concentração de polpa de 50 (% p/p) foram selecionadas para a produção de milho verde em pó, por resultar em produtos de melhores características, de forma geral.

REFERÊNCIAS

- ABADIO, F. D. B. et al. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice-effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, n. 3, p. 285-287, Sept. 2004.
- ALVIM, I. D. **Produção e caracterização de micropartículas obtidas por spray drying e coacervação complexa e seu uso para alimentação de larvas de peixes**. 2005. 243 p. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- ANSELMO, G. C. S. et al. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.
- ARIAS, R. et al. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 48, n. 5, p. 1697-1702, Apr. 2000.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the association of chemistry**. 17th ed. Washington, 2000. 1017 p.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.
- BAKAN, J. Microencapsulation of foods and related products. **Food Technology**, Oxford, v. 27, n. 11, p. 34-44, Nov. 1973.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G.; BARLETTA, B. **Food engineering laboratory manual**. Pennsylvania: Technomic, 1997. 141 p.
- BHANDARI, B. R. et al. Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 57, n. 1, p. 217-221, Feb. 1992.

BHANDARI, B. R.; HARTEL, R. W. Phase transitions during food powder production and powder stability. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered food**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 261-292.

_____. *Spray drying of concentrated fruit juices*. **Drying Technology**, New York, v. 11, n. 5, p. 1081-1092, Sept. 1993.

BORGES, S. V. et al. Jugo de frutas tropical deshidratados por spray drying. **Alimentaria**, Madrid, v. 334, n. 2, p. 125-130, Marzo 2002.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, Dec. 2000.

CANO-CHAUTA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, London, v. 6, n. 4, p. 420-428, Dec. 2005.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. et al. Obtenção de graviola em pó pelo processo de liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 165-172, 2005.

CHAMBI, H. N. M. et al. Solid lipid microparticles containing water-soluble compounds of different molecular mass: production, characterization and release profiles. **Food Research International**, Barking, v. 41, n. 3, p. 229-236, June 2008.

CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 23, n. 3, p. 657-668, June 2005.

COLOR GLOSSARY. **Color glossary**. Disponível em: <http://www.sapdesignguild.org/resources/glossary_color>. Acesso em: 13 jan. 2012.

FELLOWS, P. **Tecnología del procesado de los alimentos: principios y práctica**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 708 p.

FENEMMA, O. R. Water and ice. In: _____. **Food chemistry**. 3rd ed. New York: M. Dekker, 1996. p. 17-94.

FERNANDES, L. P. et al. Volatile retention and antifungal properties of spray-dried microparticles of lippiasidoides essential oil. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 12, p. 1534-1542, June 2008.

FRANCO, C. M. L. F. et al. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001. 221 p.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O. Elaboração e análises físico-químicas de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 292, p. 687-697, 2003.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II., powder properties. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 6, p. 726-737, June 2008.

_____. Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. **Drying Technology**, New York, v. 22, n. 10, p. 2309-2330, Oct. 2004.

_____. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I., the effect on product recovery. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 1, p. 25-34, Feb. 2005.

GRABOWSKI, J. A.; TRUONG, V. D.; DAUBERT, C. R. Nutritional and rheological characterization of spray dried sweetpotato powder. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 2, p. 206-216, Feb. 2008.

_____. Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 71, p. E209-E217, 2006. Special issue.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, *spray drying* and fluidized bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 84, n. 4, p. 391-403, Apr. 2008.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication**. Disponível em: <<http://www.konicaminoltaeurope.com/pcc/en>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

LANGRISH, T. A. G.; FLETCHER, D. F. Spray drying of food ingredients and applications of CFD in spray drying. **Chemical Engineering and Processing**, Lausanne, v. 40, n. 4, p. 345-354, Aug. 2001.

LARROSA, A. P. Q.; MUSZINSKI, P.; PINTO, L. A. A. Linear programming for formulation of vegetables paste and drying operation in spouted bed. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 11, p. 2032-2038, Nov. 2011.

LEWIS, M. J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 1993. 494 p.

MAIA, A. B. R.; GOLGHER, M. Parâmetros para avaliação da qualidade de reconstituição do leite em pó desidratado em secador de aspersão ("Spray-Drier"). **Boletim SBCTA**, Campinas, v.17, n. 3, p. 235-254. jul./set.1983.

MILLQVIST-FUREBY, A.; ELOFSSON, U.; BERGENSTAHL, B. Surface composition of spray-dried milk protein-stabilised emulsions in relation to pre-heat treatment of proteins. **Colloids and Surfaces: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 47-58, Mar. 2001.

O'HAGAN, P. et al. Particle size analysis of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 215-246.

OLIVEIRA, A. R. G. et al. Influência das condições de secagem por atomização sobre as características sensoriais de sucos maracujá (*passiflora edullis*) e abacaxi (*ananás comosus*) desidratados. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p. 251-256, jul./set. 2007.

PARK, K. J.; YADO, M. K.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 288-292, set./dez. 2001.

RAMOS, A. R.; SILVA, A. L. A.; FINZER, J. R. D. Study of the drying of starch paste in spouted bed with inert particles. **FAZU em Revista**, Uberaba, n. 2, p. 118-125, 2005.

RODRIGUES, F. et al. Capacidade de combinação entre linhagens de milho visando à produção de milho verde. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 75-84, 2009.

RODRIGUES, M. I.; IEMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Campinas: Casa do Pão, 2009. 215 p.

SANTOS, A. B.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; GROSSO, C. R. F. Preparo e caracterização de microcápsulas de oleoresina de páprica obtidas por atomização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 322-326, abr./jun. 2005.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, Cairo, v. 33, n. 1, p. 28-45, Mar. 1993.

STREIT, N. M. et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, maio/jun. 2005.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 88, n. 3, p. 411-418, Mar. 2008.

_____. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açai em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 444-450, abr./jun. 2009.

TONON, R. V. et al. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, n. 2, p. 215-221, Feb. 2009.

THIES, C. Complex coacervation. In: _____. **How to make microcapsules: lecture and laboratory manual**. Saint Louis: Lecture and Laboratory, 1995. p. 1-43.

TRUONG, V.; BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Optimization of co-current *spray drying* process of sugar-rich foods: part I, moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 71, n. 1, p. 55-65, Feb. 2005.

VISSOTTO, F. Z. et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 3, p. 666-671, jul./set. 2006.

WANG, S.; LANGRISH, T. A review of process simulations and the use of additives in spray drying. **Food Research International**, Barking, v. 42, n. 1, p. 13-25, Jan. 2009.

WIELAND-BERGHAUSEN, S. et al. Comparison of microencapsulation techniques for the water-soluble drugs nitenpyram and clomipramine HCl. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 35-43, 2002.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA, REOLOGICA E ISOTERMAS DE SORÇÃO DE POLPA DE MILHO VERDE RECONSTITUÍDO EM PÓ

RESUMO

O milho verde é muito consumido *in natura*, utilizado na indústria de alimentos para a fabricação de conservas e, na forma desidratada, pode servir para uso em diversos alimentos, além de ter maior estabilidade durante o armazenamento. Este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar o efeito das condições de secagem previamente otimizadas sobre as propriedades químicas, físicas e reológicas de polpa de milho verde reconstituído em pó, mediante comparação com a polpa *in natura* (controle), determinar e modelar as isotermas de sorção a 25 °C, por diferentes modelos matemáticos. Os resultados indicaram que a secagem por atomização afetou a composição química de polpa de milho verde reconstituído em pó, observando-se degradação no amido, proteínas e lipídeos; aumento da concentração nos demais nutrientes e uma aparência de aspecto fosco no parâmetro cor. O modelo de Casson foi o que melhor se ajustou aos dados reológicos. A polpa de milho verde ou em pó reconstituído nas concentrações estudadas apresentou comportamento pseudoplástico e a concentração de 17,5% a 20% de polpa de milho verde reconstituído em pó apresentou maiores valores de viscosidade. A isoterma a 25 °C é do tipo sigmoide, apresentando melhor ajuste para o modelo de Peleg.

Palavras-chave: Secagem. Composição química. Propriedades físicas. Estabilidade.

ABSTRACT

Green corn is much consumed *in natura*, utilized in the food industry for conserve making and, in its dehydrated form; it can be utilized in the formulation of several foods, in addition to having increased stability during storage. This work was carried out with the purposes of evaluating the effect of the previously optimized drying conditions on the physical, chemical and rheological properties of reconstituted green corn pulp powder by means of the comparison with the *in natura* pulp (control), determining and modeling the sorption isotherms at 25 °C by different mathematical models. The results pointed out that the atomization drying affected the chemical and physical composition of reconstituted green corn pulp powder, degradation in starch, proteins and lipids; increased of the concentration in the other nutrients and an appearance of dull feature in the parameter chroma. The Casson model was the one which best adjusted to the rheological data. The pulp *in natura* and in reconstituted powder presented pseudoplastic behavior and at the concentrations of 17.5% and 20% of reconstituted green corn pulp presented the highest values of consistence and viscosity. The isotherm at 25 °C is of the sigmoid type, presenting best adjustment to the Peleg model.

Keywords: Drying. Chemical composition. Physical properties. Stability.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais consumidas no México, que se difundiu da América para outros continentes, sendo que os Estados Unidos, a China e o Brasil são os maiores produtores mundiais (OLIVEIRA; REIS; PEREIRA, 2006).

O consumo de milho verde é uma tradição na culinária brasileira no preparo alimentício (pamonha curau e outros), sendo comum a comercialização na forma de espigas e grãos enlatados (RODRIGUES et al., 2009). O milho verde, após a colheita, é considerado um produto altamente perecível, pelo seu alto teor de água, o que torna seu período de comercialização bastante restrito (PINHO et al., 2008; SILVA; BARRETO; SANTOS, 1997).

Nos últimos anos, as indústrias alimentícias têm alcançado novos níveis de importância para a elaboração de produtos desidratados, visto que essa forma física proporciona um produto estável, com baixo custo de embalagem, transporte e armazenamento (COSTA; MEDEIROS; MATA, 2003). A secagem por atomização é considerada uma alternativa viável na desidratação de frutas, vegetais e produz alimentos de boa qualidade nutricional. Além disso, opera com alta taxa de produção de sólidos e de baixo custo (ABADIO et al., 2004; ANSELMO et al., 2006; GOMES; SILVA, 2003; GRABOWSKI; TRUONG; DAUBERT, 2008; LANGRISH; FLETCHER, 2001).

O conhecimento das propriedades reológicas da polpa é importante para garantir o bom funcionamento do sistema de atomização da solução em secadores por aspersão (FERREIRA; QUEIROZ; GASPARETTO, 2002; GOMES et al., 2001; LEITE et al., 2004; NINDO et al., 2004; PELEGRINE; VIDAL; GASPARETTO, 2002; TIZIANI; VODOVOTZ, 2005; VITAL; PELEGRINE; GASPARETTO, 2004).

A caracterização da composição química justifica-se pela avaliação nutricional e qualidade do produto que se alteram durante o processamento de alimentos (CHAVES; SGROPPO; AVANZA, 2004; LEITE; MANCINI; BORGES, 2007). O conhecimento das isotermas de sorção é necessário para estabelecimento de melhores condições de secagem e armazenamento do produto, além de servir para modelagem matemática do processo de secagem em diferentes condições de processo, dentre outras utilidades. O método da obtenção da isoterma constitui na determinação da quantidade de água sorvida no produto, em diferentes umidades relativas, a uma dada temperatura (PARK; BIN; BROD, 2007). Estas curvas podem ser preditas por modelos matemáticos que facilitam a obtenção de pontos que não foram avaliados em condições constantes de umidade relativa (CORRÊA et al., 2006; PENA; RIBEIRO; GRANDI, 1997).

Este trabalho foi realizado com os objetivos de avaliar o efeito das condições de secagem previamente otimizadas sobre as propriedades químicas, físicas e reológicas de polpa de milho verde reconstituído em pó, mediante comparação com a polpa *in natura* (controle), determinar e modelar as isotermas de sorção a 25 °C, por diferentes modelos matemáticos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A seguir é apresentada a metodologia utilizada para obtenção da polpa de milho verde e do pó reconstituído.

2.1 Preparo da matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi milho verde (*Zea mays* L.) selecionado como milho comum do híbrido AG-1051, colhido na safra 2011, cujos grãos se apresentavam na fase leitosa. As espigas de milho verde foram adquiridas do produtor, no mercado municipal de Lavras, MG.

No fluxograma apresentado na Figura 1 encontram-se as etapas do processamento das espigas de milho verde, que foram despalhadas, lavadas e imersas em solução de hipoclorito de sódio, despulpadas, embaladas em sacos de polietileno e armazenadas em uma câmara de refrigeração, a -18 °C. A polpa foi descongelada e diluída com água (% p/p) e desidratada para posterior análise química, física, reológica e isoterma de sorção.

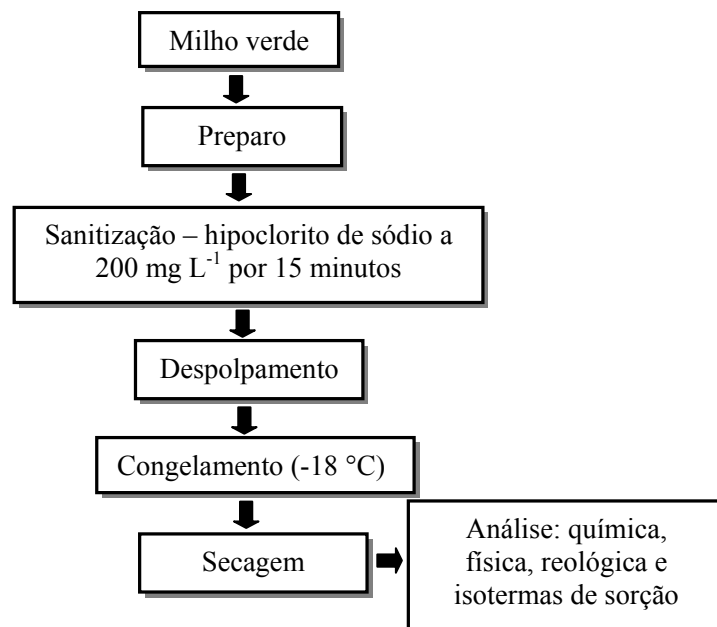


Figura 1 Fluxograma do processamento das espigas de milho verde

2.2 Secagem por atomização ou *spray drying*

A secagem por atomização foi realizada em um secador de bancada da marca Labmarq do Brasil, modelo MSD 1.0 (Ribeirão Preto, Brasil). O equipamento foi operado usando um bico injetor de 3 mm de diâmetro, fluxo de ar de 40 L/min e pressão do ar de 4,0 bar. As condições de operação do secador foram: concentração de alimentação 1:1, temperatura do ar de entrada e saída 150 °C e 80 °C, respectivamente e vazão de alimentação de 0,85 Lh⁻¹.

2.3 Métodos analíticos

As análises químicas, físicas, reológica e isotermas de sorção foram avaliadas conforme a metodologia a seguir.

2.3.1 Amido

Analisado pelo método redutométrico de Somogy, modificado por NELSON (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTRY - AOAC, 1992).

2.3.2 Açúcares redutores em glicose e não redutores em sacarose e totais

Analisados pelo método redutométrico de Somogy, adaptado por NELSON (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTRY - AOAC, 1992).

2.3.3 pH

As medidas de pH foram determinadas pelo método eletroanalítico (potenciométrico) em potenciômetro digital, modelo QUIMIS, tipo Q-400 A, calibrado com soluções tampão (pH = 4 e pH = 7) para soluções ácidas em temperatura ambiente, segundo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985). As amostras de polpa de milho verde e do pó reconstituído foram diluídas em água destilada, homogeneizada e filtrada.

2.3.4 Acidez total titulável

Foi obtida por titulação com NaOH, 0,01 N, de acordo com a técnica descrita pela AOAC (1992) e expressa em mL de NaOH 0,01 por 100 g da amostra. Os resultados foram expressos em g/100 g de ácido cítrico.

2.3.5 Sólidos solúveis (°Brix)

A determinação dos sólidos solúveis foi realizada com auxílio de refratômetro digital, de acordo com as normas analíticas (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

2.3.6 Atividade de água

Para as medidas de atividade de água foi utilizado o equipamento Aqualab (Decagon modelo 3 TE, USA). As leituras foram realizadas em 5 g da amostra, em um recipiente de plásticos na temperatura $25,0 \pm 0,3$ °C.

2.3.7 Cor

As medidas da cor foram realizadas segundo os parâmetros de CIELab, sendo os valores de luminosidade L^* ($L^* = 0$ preto e $L^* = 100$ branco) e da cromaticidade definida por a^* (+ a^* = vermelho e - a^* = verde) e b^* (+ b^* = amarelo e - b^* = azul). Os valores de L^* , a^* e b^* matematicamente combinados permitem calcular as razões a^*/b^* e $(a^*/b^*)^2$. O ângulo hue e Chroma foi calculado segundo as equações $\text{hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$, quando $a^* > 0$ e $b^* > 0$; $\text{hue} = 180 + \tan^{-1}(b^*/a^*)$. A saturação (C^* ou Chroma) define a viracidade (próximo

de 60) ou opacidade da cor (próximo de zero) (COLOR GLOSSARY, 2012; KONICA MINOLTA, 2012). Chroma = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ (ARIAS et al., 2000).

2.3.8 Umidade

As análises de umidade foram determinadas gravimetricamente após a secagem em estufa, segundo AOAC (2000).

2.3.9 Cinzas

As análises de cinzas foram realizadas segundo as normas analíticas da AOAC (2000), obtidas por incineração a temperaturas de 550-570 °C.

2.3.10 Extrato etéreo

O teor de extrato etéreo foi obtido pelo extrator Soxhlet, com auxílio de solventes orgânicos, como éter etílico, de acordo com AOAC (2000).

2.3.11 Proteínas

As análises de proteínas seguiram o método de Kjeldahl (AOAC, 2000), em que se obtêm os teores de nitrogênio total da amostra. Estes são fracionados por meio de cálculos em nitrogênio proteico, considerando-se que cada 100 g de proteína contêm, em média, 16 g de nitrogênio.

2.3.12 Carboidrato

Calculado por diferença dos demais componentes e considerando o teor de carboidratos (AOAC, 2000).

2.3.13 Reologia

As medidas reológicas de polpa de milho verde e do pó reconstituído foram feitas em triplicata e diluídas na proporção de 10%, 12,5%, 15%, 17,5% e 20% (p/p) e analisadas a 25 °C, em um viscosímetro rotacional de cilindros concêntricos Brookfield DVIII (Brookfield Engineering Laboratories, Stoughton, USA), e rotor (spindle) SC4-31 (11,76 mm de diâmetro e 30,68 mm de comprimento), com um adaptador para pequenas amostras 13R/RP (19,05 mm de diâmetro e profundidade de 64,77 mm). As amostras foram submetidas a uma rampa crescente de taxa de deformação que variou não linearmente de 9,24 a 30,36 s⁻¹, durante 45 minutos, em 17 intervalos. Os dados foram obtidos usando o programa *software* Reocalc (versão v. 3.1).

Os dados de tensão de cisalhamento e a taxa de deformação foram determinados conforme o modelo de Casson, Plástico de Bingham e Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), conforme as equações (1), (2) e (3), respectivamente.

$$\sigma^{0,5} = \sigma_{0c} + k_c \dot{\gamma}^{0,5} \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} \quad (2)$$

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

em que σ = tensão de cisalhamento (Pa); σ_{0c} = tensão de cisalhamento inicial (Pa); k_c = índice de consistência de Casson (Pa.s); η_p = viscosidade plástica de Bingham (Pa.s); $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1}); k = índice de consistência (Pa.s); n = índice de comportamento do fluxo (adimensional).

2.4 Isotermas de sorção de polpa de milho verde reconstituído em pó

Para a determinação das isotermas de sorção foi utilizado o método gravimétrico estático, descrito por Spiess e Wolf (1987), pesando-se 1,0 g da amostra em triplicata, em placa de Petri. Em seguida, as placas de Petri com as amostras foram colocadas em dessecadores herméticos, utilizando-se as soluções saturadas de diferentes sais, conforme mostrado na Tabela 1 e armazenadas em uma câmara do tipo BOD, à temperatura de 25 °C. Assim, permaneceram nesses ambientes até atingirem o equilíbrio, ou seja, até que não houvesse mais variação de massa detectada por meio da pesagem a cada 24 horas. Durante este período, as amostras foram submetidas à inspeção visual, para detectar quaisquer alterações perceptíveis. Posteriormente, as placas de Petri foram levadas à estufa, a 70 °C, para a determinação do teor de umidade final das amostras.

Tabela 1 Atividade de água das soluções saturadas de sais

Sais	25 °C
Cloreto de lítio	0,113
Carbonato de potássio	0,432
Nitrato de magnésio	0,529
Cloreto de sódio	0,753
Cloreto de potássio	0,843

Fonte: Roos (1995)

2.4.1 Umidade de equilíbrio

A umidade de equilíbrio (U_{eq}) das amostras foi calculada pela diferença obtida pela Equação 1, estabelecendo-se a relação entre a massa de água no equilíbrio e a massa seca.

$$U_{eq} = \frac{m_{\text{água}}}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

em que U_{eq} – umidade de equilíbrio (% b.s.), $m_{\text{água}}$ – massa de água adsorvida pela amostra (g), m_s – massa da amostra seca (g).

2.4.2 Modelos matemáticos

A Tabela 2 apresenta-se os modelos de GAB, Oswin, BET e Peleg respectivamente, para o ajuste matemático das isotermas de sorção de umidade de polpa de milho verde reconstituído em pó. As análises foram realizados pela regressão não linear, pelo método Quasi-Newton e critério de convergência de 10^{-4} , utilizando-se o software Statistic 8.0 (StatSoft, Tulsa, USA).

Tabela 2 Modelos de ajuste de isotermas de sorção de água

Modelo	Equação
GAB (Anderson, 1946)	$U_{eq} = \frac{s_1 s_2 s_3 \varphi}{(1-s_3\varphi)[1+(s_2-1)s_3\varphi]}$
Oswin (Chirife; Iglesias, 1978)	$U_{eq} = s_1 \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right)^{s_2}$
BET modificado Jaafar (Nascimento et al., 2008)	$U_{eq} = \frac{(s_1 \cdot s_2)}{(1-s_3\varphi)(1+s_2s_3\varphi)}$
BET modificado (Jaafar e Michalowski, 1990)	$U_{eq} = \frac{s_1 s_2 \varphi}{(1-s_3\varphi)[1+(s_2-s_3)\varphi]}$
Peleg (Peleg, 1993)	$U_{eq} = s_1 \exp(s_2 \ln \varphi) + s_3 \varphi^{s_4}$

φ é a atividade de água do sal

2.4.3 Erro experimental

Para a determinação do melhor ajuste foram utilizados como critérios o coeficiente de determinação (R^2) e o erro relativo (ER), calculados pela equação (2) e (3), respetivamente.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (U_{eq(teor)} - U_{eq(exp)})^2}{\sum_{i=1}^n (U_{eq(exp)} - U_{eq(exp)})^2} \quad (2)$$

$$ER = \frac{U_{eq(exp)} - U_{eq(teor)}}{U_{eq(exp)}} \quad (3)$$

em que $U_{eq(exp)}$ = umidade de equilíbrio experimental (% b.s.), $U_{eq(teor)}$ = umidade de equilíbrio estimada pelo modelo (% b.s.).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados correspondem à polpa de milho verde e do pó reconstituído obtido da secagem por atomização.

3.1 Características químicas e físicas de polpa de milho verde e do pó reconstituído

As características químicas e físicas de polpa de milho verde e do pó reconstituído são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 Sumário das características químicas e físicas de polpa de milho verde e do pó reconstituído (g/100g b.s)

Composição	Média ± desvio padrão	
	Polpa de milho verde	Polpa de milho verde reconstituído em pó
pH	7,20±0,01	6,70±0,00
Acidez	0,13±0,00	1,00±0,50
Sólidos solúveis °Brix	4,25±0,35	16,8±2,15
Amido	84,99±1,68	59,95±0,63
<i>aw</i>	*0,99±0,00	0,14±0,00
Umidade	33,38±0,47	2,02±0,11
Proteína	11,42±0,27	8,80±0,23
Cinza	1,92±0,01	2,52±0,01
Extrato etéreo	4,37±0,35	1,40±0,20
Fibra	3,14±0,15	0,00±0,00
Açúcar total	8,60±0,05	17,22±0,47
Açúcares redutores	5,92±0,08	9,32±0,86
Açúcares não redutores	2,38±0,03	7,41±0,43
Carboidrato	45,78±0,01	96,32±0,08
<i>h</i> ^o	*90,97±0,01	92,73±0,34
C*	*32,95±0,62	14,29±0,30

*b.u.: base úmida

De acordo com os dados da Tabela 3, as análises químicas e físicas de polpa de milho verde demonstraram que os resultados em base úmida (b.u) avaliados foram próximos aos relatados na literatura, considerando diferente cultivar de milho (BRAZ et al., 2008; CANIATO et al., 2004; PEREIRA; CRUZ, 2002; PEREIRA FILHO; CRUZ, 2003; SILVA; PATERNIANI, 1986). Após o processo de secagem por atomização, a polpa de milho verde reconstituído em pó sofreu redução do pH e, concomitantemente, aumento na acidez titulável durante o processamento. Em função da redução do teor de umidade, a atividade de água reduziu drasticamente, em decorrência da desidratação, o que torna o produto, quando embalado e estocado em condições adequadas, altamente estável durante o armazenamento.

O teor de sólidos solúveis, açúcares e carboidratos aumentaram proporcionalmente em função da retirada da água e, em parte, devido a hidrólise do amido, o qual sofreu uma redução do tratamento térmico aplicado. O teor de cinzas aumentou com o efeito da concentração do produto. Houve redução no teor de proteínas e de extrato etéreo, decorrente da degradação térmica destes componentes pela ação do calor (COSTA et al., 2006; FENNEMA, 1996).

A ausência de fibras foi devido ao despolpamento e ao refinamento da polpa, para possibilitar sua secagem.

Em relação aos parâmetros de cor, verifica-se que o valor do ângulo hue h^0 apresentou uma coloração amarelo-clara para polpa *in natura* e maior intensidade após a desidratação. Para a saturação C^* , verificou-se que a polpa *in natura* apresentou uma intensidade de cor para o branco e o pó reconstituído, uma cor de aspecto fosco. Os valores do ângulo hue mostraram que tanto a polpa *in natura* quanto o produto desidratado apresentam coloração amarela. Segundo Badrie e Mellowes (1991), a elevação da temperatura de secagem aumenta a intensidade da cor, proporcionando maior ocorrência de escurecimento para produto desidratado. Esse fato, por sua vez, não foi observado no presente

trabalho, pois a temperatura utilizada na secagem por atomização não influenciou esta característica.

3.2 Reologia

O modelo que melhor explica o comportamento reológico para a polpa de milho verde e do pó reconstituído é o de Casson, apresentando R^2 igual a 99,0%. O reograma para o modelo de Casson está apresentado no Gráfico 1.

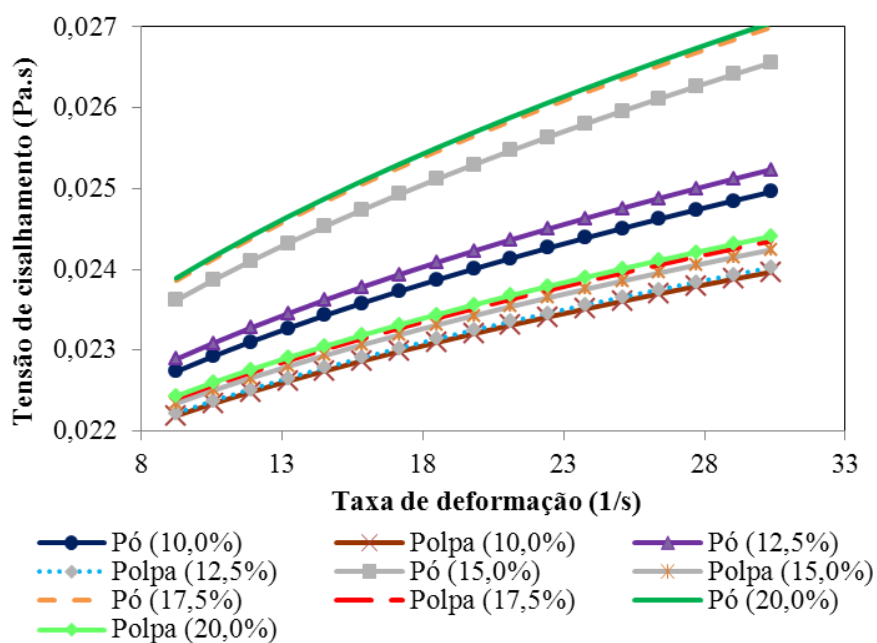


Gráfico 1 Reograma para polpa de milho verde e do pó reconstituído, em diferentes concentrações

O reograma mostra a relação não linear dos dados experimentais entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Neste tipo de fluido não newtoniano, as inclinações das curvas de escoamento diminuem com o aumento

da taxa de deformação, evidenciando assim, um decréscimo da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. Este comportamento foi observado por Dutta et al. (2006) em purê de abóbora e Vandresen et al. (2009) em suco de cenoura pasteurizada.

A relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação dos fluidos pseudoplásticos para polpa de milho verde e do pó reconstituído apresenta maior alinhamento das moléculas em direção ao fluxo formado, induzindo maior fluidez do líquido com menor atrito (Alparlan; Hayta, 2002).

Os parâmetros reológicos que descrevem o comportamento reológico para a polpa de milho verde e do pó reconstituído estão apresentados na Tabela (4) e (5) respectivamente.

Tabela 4 Parâmetros reológicos obtidos dos modelos para a polpa de milho verde em função das concentrações

Modelo	Parâmetro	Concentração da polpa de milho verde				
		10%	12,5%	15%	17,5%	20%
Casson	σ_{0c}	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	k_c	0,72	0,73	0,79	0,80	0,80
	R^2	99,0	99,1	99,2	99,3	99,3
Plástico de Bingham	τ_0	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
	η_p	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05
	R^2	98,1	98,4	98,6	98,6	98,7
Potência	K	2,54	3,24	3,81	4,16	5,75
	n	0,73	0,71	0,73	0,74	0,78
	R^2	97,8	97,8	98,0	98,4	98,4

Tabela 5 Parâmetros reológicos obtidos dos modelos para a polpa de milho verde reconstituído em pó em função das concentrações

Modelo	Parâmetro	Concentração da polpa de milho verde reconstituído em pó				
		10%	12,5%	15%	17,5%	20%
Casson	σ_{0c}	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	k_c	0,90	0,97	1,19	1,27	1,28
	R^2	99,0	99,4	99,5	99,6	99,8
Plástico de Bingham	τ_0	0,08	0,08	0,09	0,09	0,12
	η_p	1,19	1,28	1,40	1,51	1,68
	R^2	97,3	98,0	98,9	99,3	99,5
Potência	K	4,89	5,50	6,20	7,84	8,46
	n	0,75	0,75	0,84	0,84	0,85
	R^2	95,8	97,2	97,8	98,8	99,4

Verifica-se que o modelo de Casson, a tensão inicial (σ_{0c}) para todas as formulações não sofreu variação com a concentração da polpa de milho verde e do pó reconstituído. Para o índice de consistência (k_c), comportamentos semelhantes foram observados para o modelo Ostwald-de-Waele para a polpa de milho verde reconstituído em pó, sendo superior ao da polpa de milho verde, em que, aumentando-se a concentração em ambos os tratamentos, houve um aumento neste parâmetro.

Observa-se que a tensão de cisalhamento inicial (τ_0) e a viscosidade plástica de Bingham (η_p) apresentou comportamento semelhante nos tratamentos, ou seja, a viscosidade é maior para a polpa de milho verde reconstituído em pó, em que, aumentando a concentração do pó houve um aumento neste parâmetro. Isto significa que o processo de secagem influencia no comportamento de escoamento da polpa desidratada, tornando-a mais resistente mecanicamente. O aumento da viscosidade aparente da polpa de milho verde reconstituído em pó quando comparado com a polpa de milho verde indica uma

maior interação entre os componentes dos grânulos quando hidratado. Esta característica foi observado por Karim et al. (2007) em fécula de batata.

O parâmetro (n) caracteriza o fluxo de polpa de milho verde e do pó reconstituído. Analisando os valores dos índices de fluido (n), observa-se que em todos os tratamentos estes foi menor que a unidade. Com base nos dois parâmetros, tensão inicial maior que zero e $0 < n < 1$, pode-se caracterizar a polpa de milho verde e do pó reconstituído como um fluido não newtoniano pseudoplástico. Este comportamento com tensão inicial (*Yield stress*) foi observado por WANG et al. (2001) em leite de soja e AZOUBEL et al. (2005) suco de caju.

Nos Gráficos 2 e 3 mostram a viscosidade aparente e as concentrações da polpa de milho verde e do pó reconstituído, em função da taxa de deformação.

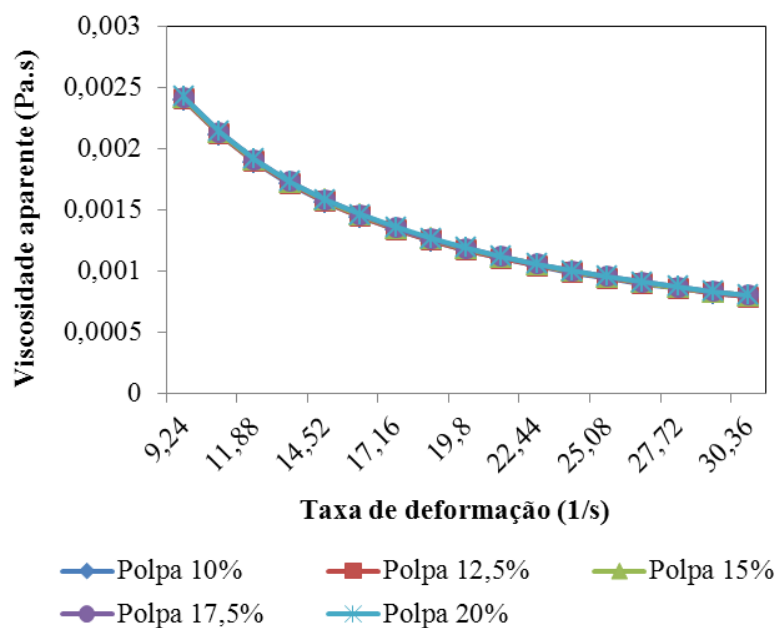


Gráfico 2 Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação de concentrações de polpa de milho verde

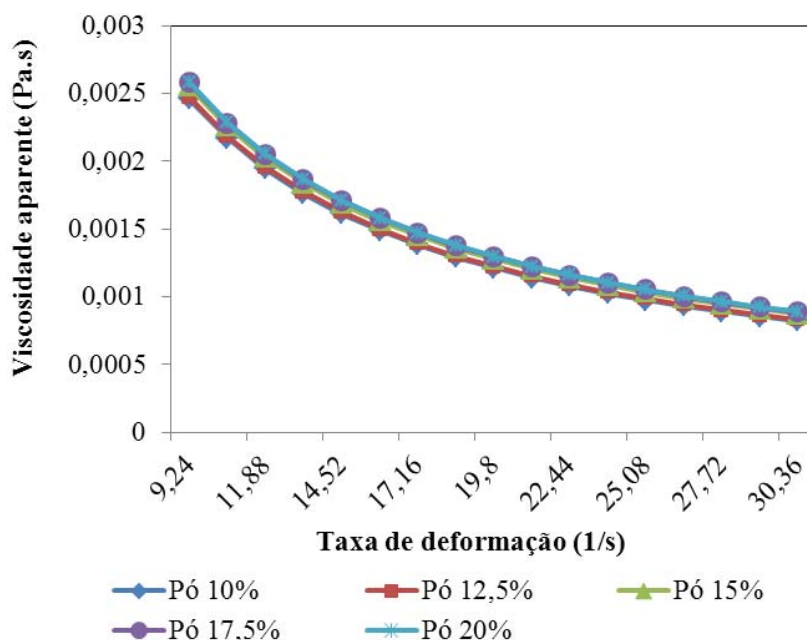


Gráfico 3 Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação de concentrações de polpa de milho verde reconstituído em pó

Observa-se que o comportamento reológico de polpa de milho verde e do pó reconstituído apresenta características similares. A aplicação da força de cisalhamento na estrutura dessas partículas reduz a viscosidade aparente, em que, pode facilitar a operação do processo, a potência de bombeamento, os dados de mistura e aquecimento (HAMINIUK et al., 2006; LEITE et al., 2004).

No Gráfico 2, mostra-se que a concentração da polpa de milho verde não apresentou influência sobre a viscosidade dos tratamentos. Verifica-se, no Gráfico 3, que a polpa de milho verde reconstituído em pó resultou em maiores viscosidades nas concentrações de 17,5% a 20%. De acordo com Buffo, Reineccius e Oehlert (2001), a viscosidade aparente depende da concentração, do tamanho e da forma das moléculas em suspensão, das oscilações entre as ligações formadas e do número de colisões intra e intermoleculares. A polpa de

milho verde reconstituído em pó apresenta partículas de diferentes formas e volumes; em grande quantidade do material no líquido pode apresentar aglomeração das partículas, causando maior viscosidade quando comparada com a polpa de milho verde.

3.3 Isotermas de sorção

Na Tabela 6 apresentam-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Oswin, BET e Peleg respectivamente, ajustados as isotermas de sorção de umidade de polpa de milho verde reconstituído em pó e o coeficiente de determinação (R^2) para cada modelo ajustado.

Tabela 6 Parâmetros de ajuste dos modelos e coeficiente de determinação (R^2)

Modelo	Parâmetros				R^2
	S1	S2	S3	S4	
GAB	4,10	20,74	0,82	-	0,992
Oswin	6,61	0,40	-	-	0,994
BET modificado Jaafar	1,80	1,49	0,72	-	0,998
BET modificado Jaafar e Michalowski	4,10	16,95	0,82	-	0,992
Peleg	34,53	12,45	10,09	0,57	0,999

Observa-se que todos os modelos apresentaram ajustes superiores a 0,990. O modelo de Peleg apresentou maior R^2 em relação aos demais modelos, sendo de 0,999. Peleg propôs esse modelo empírico com quatro parâmetros, ao testar o ajuste em dados de isotermas de sorção encontrados na literatura, obtendo ajustes comparáveis ou melhores que os resultantes da aplicação do

modelo de GAB para valores de atividade de água inferiores a 0,9, podendo ser usado para isotermas sigmóides e não-sigmóides (VIEIRA; FIGUEIREDO; QUEIROZ, 2007). Galdino (2003) também constatou que o modelo de Peleg apresentou melhor ajuste do que o de GAB ao avaliar as isotermas de sorção do umbu em pó, na temperatura de 25 °C.

A vantagem da utilização de modelos matemáticos na predição das isotermas de sorção de umidade reside no fato de que, com poucos pontos experimentais, pode-se construir uma isoterma, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para a obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas a_w , pontos estes de difícil determinação experimental, devido à limitação dos higrômetros (baixas a_w) e ao desenvolvimento de fungos (altas a_w) (ROCKLAND, 1957).

Na Tabela 7 encontram-se os resultados experimentais e teóricos das umidades de equilíbrio de polpa de milho verde reconstituído em pó, assim como o erro relativo (ER) para cada modelo. Observou-se que, em todas as condições, houve adsorção de água pelo produto.

Tabela 7 Valores experimentais e teóricos da umidade de equilíbrio (% b.s.) e erros relativos (ER) dos modelos ajustados

Modelo	a_w	$U_{eq}(\% \text{ b.s.})$	$U_{eq(teor)}$	ER
GAB	0,11	2,96	3,07	-0,10
	0,43	5,95	5,83	0,13
	0,53	7,25	6,80	0,45
	0,75	9,59	10,36	-0,78
	0,84	13,27	12,91	0,36
Oswin	0,11	2,96	2,92	0,04
	0,43	5,95	5,93	0,02
	0,53	7,25	6,93	0,32
	0,75	9,59	10,30	-0,72
	0,84	13,27	12,89	0,38
Jaafar	0,11	2,96	3,27	-0,31
	0,43	5,95	5,67	0,28
	0,53	7,25	6,75	0,50
	0,75	9,59	10,49	-0,91
	0,84	13,27	12,84	0,43
Jaafar, Michalowski	0,11	2,96	3,07	-0,10
	0,43	5,95	5,83	0,13
	0,53	7,25	6,80	0,45
	0,75	9,59	10,36	-0,78
	0,84	13,27	12,91	0,36
Peleg	0,11	2,96	2,89	0,08
	0,43	5,95	6,24	-0,28
	0,53	7,25	7,02	0,23
	0,75	9,59	9,59	-0,01
	0,84	13,27	13,27	0,00

Observa-se que o modelo de Peleg apresentou o menor erro relativo quando comparado com os demais modelos, confirmando-o como o melhor ajuste matemático (Gráfico 4).

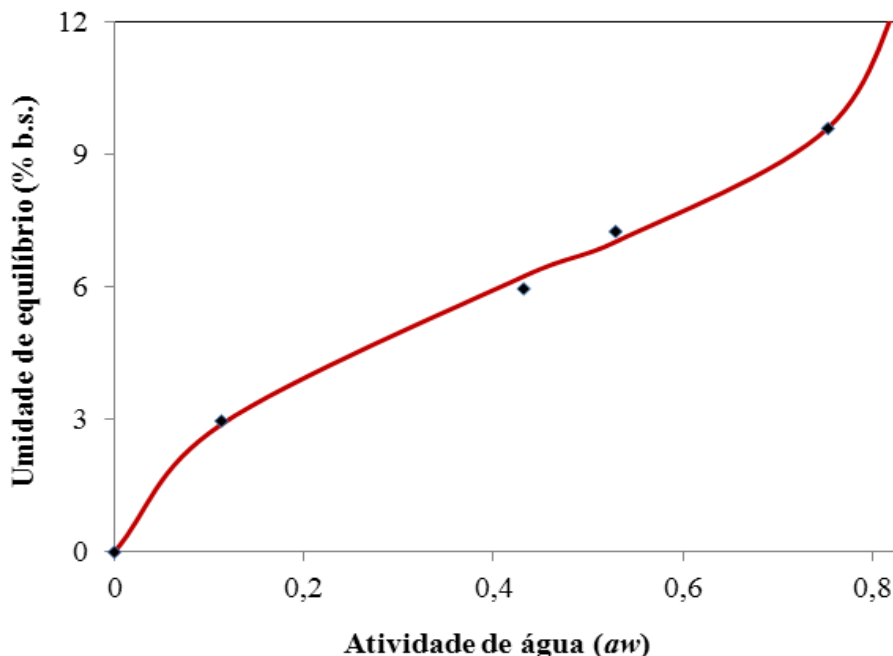


Gráfico 4 Isoterma de adsorção a 25 °C, de polpa de milho verde reconstituído em pó, ajustada pelo modelo de Peleg

Segundo Costa, Medeiros e Mata (2003), as isotermas de sorção são normalmente divididas em três partes diferentes. A primeira parte está compreendida entre 0 e 0,3, onde observa-se um aumento importante do teor de água com o aumento da a_w . Na segunda parte das isotermas, onde a a_w varia entre 0,3 e 0,6, observa-se um pequeno aumento do teor de água e uma forte modificação da a_w . Na terceira parte das isotermas, onde a_w varia de 0,6 a 1, se constata um forte aumento do teor de água. Este aumento de a_w é consequência da presença de substâncias solúveis e da alta porosidade do substrato (LOISEL, 1988; RIGANAKOS; DEMERTZIS; KONTOMINAS, 1994). A água presente nesta fase está ligada por forças de natureza capilar ou osmótica. Esta água se mantém disponível para as reações bioquímicas (COSTA; MEDEIROS; MATA, 2003).

4 CONCLUSÃO

A secagem afetou a composição química de polpa de milho verde reconstituído em pó, observando-se degradação no amido, proteínas e lipídeos; aumento da concentração nos demais nutrientes e uma aparência de aspecto fosco no parâmetro cor. O modelo de Casson foi o que melhor se ajustou aos dados reológicos. A polpa de milho verde ou em pó reconstituído nas concentrações estudadas apresentou comportamento pseudoplástico e a concentração de 17,5% a 20% de polpa de milho verde reconstituído em pó apresentou maiores valores de viscosidade. A isoterma a 25 °C é do tipo sigmoidal, apresentando melhor ajuste para o modelo de Peleg.

REFERÊNCIAS

ABADIO, F. D. et al. Physical of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice: effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 64, n. 3, p. 285-287, June 2004.

ALPARSLAN, M.; HAYTA, M. Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 54, n. 1, p. 89-93, Feb. 2002.

_____. Modifications of the brunauer, Emmett, and teller equation. **Journal of the American Chemical Society**, v. 68, p. 686-691, 1946.

ANSELMO, G. C. S. et al. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.

ARIAS, R. et al. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 48, n. 5, p. 1697-1702, Apr. 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the association of chemistry**. 11th ed. Washington, 1992. 1115 p.

_____. _____. 17th ed. Washington, 2000. 1024 p.

AZOUBEL, P. M. et al. Modeling the rheology of concentrated beverage emulsions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 51, n. 2, p. 267-272, Apr. 2002.

BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, p. 1334-1337, 1991.

Disponível em:

<<http://www3.interscience.wiley.com/journal/119344950/issue>>. Acesso em: 21 mar. 2012.

BRAZ, R. F. et al. Teor de amido em espigas de milho-verde mantidas em diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 1, p. 69-75, 2008.

BUFFO, R. A.; REINECCIUS, G. A.; OEHLERT, G. W. Factors affecting the emulsifying and rheological properties of gum acacia in beverage emulsions. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 53-66, Jan. 2001.

CANIATO, F. F. et al. Composição de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e amido nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 1, p. 38-44, 2004.

CHAVES, M. G.; SGROPPO, S. C.; AVANZA, J. R. **Isotermas de adsorción de berenjenas deshidratadas**. Chaco: Universidade Nacional del Nordeste, 2004. 4 p. (Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Resumen, E-081).

COLOR GLOSSARY. **Color glossary**. Disponível em: <http://www.sapdesignguild.org/resources/glossary_color>. Acesso em: 13 jan. 2012.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isothermas of foods: Part 1 – a review. **Journal Food Technology**, v. 13, n. 3, p. 159-174, 1978.

CORRÊA, P. C. et al. Equilíbrio higroscópico de milheto, alpiste e painço: obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.

COSTA, G. E. D. A. et al. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. **Food Chemistry**, London, v. 94, n. 3, p. 327-330, Mar. 2006.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.

DUTTA, D. et al. Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 76, n. 4, p. 538-546, Oct. 2006.

FENEMMA, O. R. Water and ice. In: _____. **Food chemistry**. 3rd ed. New York: M. Dekker, 1996. p. 17-94.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. M.; GASPARETTO, R. S. C. C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 175-184, jul./dez. 2002.

GALDINO, P. O. **Desidratação da polpa de umbu**. 2003. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

GOMES, J. E. et al. Comportamento de propriedades físicas, químicas e reológicas do suco de acerola armazenado a baixa temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 296-300, 2001.

GOMES, J. C.; SILVA, C. O. Elaboração e análises físico-químicas de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 292, p. 687-697, 2003.

GRABOWSKI, J. A.; TRUONG, V. D.; DAUBERT, C. R. Nutritional and rheological characterization of spray dried sweetpotato powder. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 2, p. 206-216, 2008.

HAMINIUK, C. W. I. et al. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum* Sabine). **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 39, n. 4, p. 426-430, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 2. ed. São Paulo, 1985. v. 1, p. 533.

JAAFAR, F.; MICHALOWSKI, S. Modified BET equation for sorption/desorption isotherms. **Drying Technology**, v. 8, n. 4, p. 811-827, 1990.

KARIM, A. A. et al. Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 2, p. C132-C138, 2007.

KONICA MINOLTA. **Precise color communication**. Disponível em: <<http://www.konicaminoltaeurope.com/pcc/en>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

LANGRISH, T. A. G.; FLETCHER, D. F. Spray drying of food ingredients and applications of CFD in spray drying. **Chemical Engineering and Processing**, Lausanne, v. 40, n. 4, p. 345-354, Aug. 2001.

LEITE, J. B.; MANCINI, M. C.; BORGES, S. V. Effect of drying temperature on the quality of dried bananas cv. Prata and d'água. **Food Science and Technology**, London, v. 40, n. 2, p. 319-323, Mar. 2007.

LEITE, J. T. D. C. et al. Caracterização reológica das diferentes fases de extrato de inulina de raízes de chicória, obtidas por abaixamento de temperatura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 202-210, 2004.

LOISEL, C. **Contribution a l'étude des propriétés rhéologiques de quelques poudres alimentaires**: influences des contributions géométriques. 1988. 250 f. Thèse (Docteur en Sciences et Technologies des Productions Végétales et Alimentaires) - Université de Nantes, Nantes, 1988.

NASCIMENTO, F. R. ; TOSATO, P. G. ; CORREA, J. L. G. **Sorption isotherms for food stocks: study of models agreement**. In: 16th IDS, Hyderabad, p. 219-227, 2008.

NINDO, C. I. et al. Viscosity of blueberry and raspberry juices for processing applications. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 69, n. 3, p. 343-350, Aug. 2004.

OLIVEIRA, D. M.; REIS, K. C.; PEREIRA, J. Produção de farinha de batata utilizando secagem ao sol. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 125-135, 2006.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra *bartlett* (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, jan./abr. 2007.

PATIL, S. S.; MAGDUM, C. S. **Rheology and methods of analysis**. Disponível em: <http://www.pharmainfo.net/exclusive/reviews/rheology_and_methods_of_analysis/>. Acesso em: 14 jun. 2012.

PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 128-131, abr. 2002.

PELEG, M. Assessment of semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, v. 16, n. 1, p. 21-37, Feb. 1993.

PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Influência da temperatura nos parâmetros de modelos bi-paramétricos que predizem isotermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 229-232, 1997.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. D. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de. Propriedades reológicas da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.): efeito da concentração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 606-612, 2003.

PEREIRA, I. A. F.; CRUZ, J. C. **Cultivares de milho para o consumo verde**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2002. 7 p. (Circular Técnica, 15).

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Colheita, transporte e comercialização do milho-verde. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **O cultivo do milho-verde**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2003. p. 183-194.

PINHO, L. D. et al. Qualidade de milho verde cultivado em sistemas de produção orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 3, p. 279-290, 2008.

RIGANAKOS, K. A.; DEMERTZIS, P. G.; KONTOMINAS, M. G. Water sorption by wheat and soy flour: comparison of three methods. **Journal of Cereal Science**, London, v. 20, n. 1, p. 101-106, Mar. 1994.

ROCKLAND, L. B. A new treatment of hygroscopic equilibria: application to Walnuts (*Juglansregia*) and other foods. **Food Research**, Chicago, v. 22, p. 604-628, 1957.

RODRIGUES, F. et al. Capacidade de combinação entre linhagens de milho visando à produção de milho verde. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 75-84, 2009.

ROOS, Y. H. **Phase transitions in foods**. London: Academic, 1995. 53 p.

SILVA, P. S. L.; BARRETO, H. E. P.; SANTOS, M. X. A. Avaliação de cultivares de milho quanto ao rendimento de grãos verdes e secos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 63-69, jan. 1997.

SILVA, P. S. L.; PATERNIANI, E. Produtividade de “milho verde” e de grãos de cultivares de *Zea mays* L. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 707-712, 1986.

SPIESS, W. E. L.; WOLF, W. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L. B.; BEUCHAT, L. R. (Ed.). **Water activity: theory and applications to food**. New York: M. Dekker, 1987. p. 215-233.

TIZIANI, S.; VODOVOTZ, Y. Rheological effects of soy protein addition to tomato juice. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 45-52, Feb. 2005.

VANDRESEN, S. et al. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 92, n. 3, p. 269-274, June 2009.

VIDAL, J. R. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangífera indica* L-Keitt). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 39-43, jan./mar. 2004.

VIDAL, J. R. M. B. **Comportamento reológico da polpa de manga (Mangífera indica LKeitt)**. 2000. 159 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

VIEIRA, A. H.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 11-20, set. 2007.

WANG, B.; XIONG, Y. L.; WANG, C. Physicochemical and sensory characteristics of flavored soymilk during refrigeration storage. **Journal of Food Quality**, Wastport, v. 24, n. 6, p. 513-526, Dec. 2001.