

# 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

A comparative study on the adsorption isotherms of beetroot (*Beta vulgaris*, L.), pumpkin (*Cucurbita moschata*) and carrot (*Daucus carota*) powder form obtained by airbed drying process

José Maria Correia da Costa<sup>1</sup>, Maria de Fátima Dantas de Medeiros<sup>2</sup> e Ana Lúcia Medeiros Lula da Mata<sup>2</sup>

## RESUMO

As isotermas de adsorção foram determinadas para os pós de beterraba, abóbora e cenoura obtidos pelo processo de leito de jorro. A temperatura de acondicionamento foi de 25 °C e a atividade de água ( $a_w$ ) variou entre 0,11 e 0,94. O tempo de construção das isotermas para os diferentes pós estudados variou de 14 a 19 dias. Para a representação do equilíbrio do teor de água, foi utilizado o modelo matemático de Guggenheim, Aderson e De Boer - GAB. Os valores da monocamada ( $W_m$ ), da constante de sorção (C) e do fator de correção (K) foram calculados segundo o citado método. Os teores de água, proteína, fibra bruta, lipídios e cinza foram de: 13,0, 13,3, 7,2; 10,6, 9,5, 7,2; 16,1, 7,1, 12,3; 0,4, 1,0, 1,2 e 9,7, 4,2, 8,3, respectivamente para os pós de beterraba, abóbora e cenoura. Os resultados obtidos pelo modelo de GAB não mostraram diferenças importantes entre os pós estudados no que se refere ao teor de água da monocamada ( $W_m$ ), onde os valores estão compreendidos entre 0,08 e 0,01g de H<sub>2</sub>O/g de matéria seca. No entanto, grandes diferenças foram observadas no que diz respeito a constante de sorção (C) onde os valores variaram entre 15,62 e 70,50.

**Termos para indexação:** Atividade de água, umidade, proteína, lipídios.

## ABSTRACT

Adsorption isotherms were determined for beetroot, pumpkin and carrot, which were obtained in powder form by airbed drying process. The conditioning temperature was 25 °C and the water activity ( $a_w$ ) varied between 0,11 and 0,94. Time taken for the construction of the isotherms varied from 14 to 19 days. Equilibrium water content was determined by the mathematical model of Guggenheim, Anderson and De Boer - GAB. The monolayer ( $W_m$ ) values, sorption constant (C) and the correction factor (K) were calculated using the method mentioned earlier. The water content, protein, raw fiber, lipids and ash were: 13.0, 13.3, 7.2; 10.6, 9.5, 7.2; 16.1, 7.1, 12.3; 0.4, 1.0, 1.2 and 9.7, 4.2, 8.3 respectively for the powders of beetroot, pumpkin and carrot. The results obtained by the GAB model did not show important differences between the powders studied regarding their monolayer water content ( $W_m$ ), where the values were between 0.08 and 0.01 g of H<sub>2</sub>O/g of dry material. Still big differences were observed in relation to the sorption constant (C), where the varied between 15.62 and 70.50.

**Index terms:** Water activity, humidity, protein, lipids.

<sup>1</sup> Eng. Químico, D. Sc., Prof. Dep. de Tecnologia de Alimentos - CCA/UFC, Fortaleza - CE. E-mail: correia@ufc.br

<sup>2</sup> Enga. Química, D. Sc., Profa. da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN.

## Introdução

A desidratação de alimentos é um processo combinado de transferência de calor e massa, no qual a disponibilidade de água no alimento é reduzida, dificultando a atividade enzimática, deteriorações de origem físico-químicas e crescimento microbiano. Baruffaldi e Oliveira (1998); Coelho e Hamby (1978). Os produtos alimentícios em pó são atualmente cada vez mais utilizados pela indústria nacional de alimentos, tendo em vista que tais produtos reduzem significativamente os custos de certas operações, tais como: embalagem, transporte, armazenamento e conservação, elevando o valor agregado dos mesmos.

Uma maneira melhor de conhecer o comportamento higroscópico dos produtos alimentícios em pó, é através das isotermas de sorção. O interesse teórico e prático de conhecer as isotermas de produtos desidratados é essencial para estabelecer condições ideais de conservação, de transformação e do dimensionamento dos equipamentos de secagem e transporte. O estudo da higroscopicidade e da tendência a formar agregados de alta consistência "caking" de pós de frutas e legumes obtidos por diferentes processos de secagem é de fundamental importância no comportamento higroscópico e para a estabilidade físico-química destes (De Gois e Calvidal, 1986; Riganakos et al., 1994; Da Costa, 1988). Por outro lado, constatamos que, mesmo após o processo de secagem, não é raro que os pós alimentícios em geral e, especialmente, as hortaliças e frutas desidratadas, apresentem ainda problemas relacionados com a reologia e a higroscopicidade. Portanto, torna-se essencial estudarmos as propriedades primárias de origem química e físico-química (higroscopicidade, teor de água, atividade de água...), assim como suas propriedades secundárias, consequência direta de fatores externos tais como: vibrações, gravidade, pressões, condições de armazenamento, gradiente de temperatura, etc. Loisel, (1988), Ilari (1995).

## Material e Métodos

Os pós desidratados de abóbora (*Cucurbita moschata*), beterraba (*Beta vulgaris*, L.) e cenoura (*Daucus carota*), foram obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro no laboratório de tecnologia de alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Foram usados vários tipos de reagentes químicos para a determinação das características

físico-químicas dos diferentes pós alimentícios, e preparação das soluções salinas para estabelecer as isotermas de adsorção. Como células de acondicionamento das soluções salinas para construção das isotermas de adsorção foram utilizados vários dessecadores de tamanho médio. Uma estufa com pressão reduzida da marca FANEM, modelo 315 SE, assim como, uma balança analítica AND modelo HR - 200, foram utilizadas para as determinações de umidade e pesagem das amostras dos pós desidratados. Na determinação do extrato etéreo dos diferentes pós foi utilizado o aparelho Soxhlet com sistema de aquecimento automático de marca TECNAL. As determinações de proteína e cinza foram realizadas através do aparelho micro - KJEDAHN para destilação de nitrogênio da marca TECNAL e de uma Mufla modelo 400, respectivamente.

As análises físico-químicas de umidade, extrato etéreo, proteína, fibra bruta e cinza dos pós foram realizadas de acordo com a AOAC (1990). Para traçar as isotermas de adsorção dos diferentes pós foi aplicado o método de Spiess e Wolf (1983). Os pós utilizados para traçar as isotermas de adsorção foram previamente desidratadas a 60 °C durante 72 horas. As soluções salinas utilizadas para o estabelecimento das isotermas foram preparadas de acordo com Greenspan (1977).

Na modelagem das isotermas de adsorção foi utilizado o modelo matemático de Guggenheim, Anderson e De Boer - GAB para descrever quantitativamente o fenômeno de sorção. Este modelo é um dos mais utilizados em produtos alimentícios, e tem como objetivo calcular a massa de água da monocamada e o valor do calor de sorção. Sua equação comporta um parâmetro "K" a mais, que corresponde a um fator de correção das propriedades da multicamada. A equação matemática 1, que representa este modelo é a seguinte:

$$\frac{a}{W_m} = \frac{C.K.a_w}{(1 - K.a_w)(1 - K.a_w + C.K.a_w)} \quad [1]$$

onde:

$a_w$  = atividade de água;

$W_m$  = valor da monocamada;

$C$  = constante de sorção;

$K$  = fator de correção.

Traçando ( $a_w$ ) em função da ( $a_w/W_m$ ), encontraremos uma curva parabólica e desenvolvendo matematicamente a equação 1, poderemos calcular os valores de  $W_m$ ,  $C$  e  $K$ .

## Resultados e Discussão

A composição físico-química dos três pós alimentícios expressos em porcentagem de matéria seca é mostrada na Tabela 1. De uma maneira geral, observa-se que os teores de água variam entre 7,2 e 13,3. O pó que apresentou o mais alto teor de umidade foi o de abóbora. Os altos teores de água encontrados para os pós de abóbora e beterraba estão provavelmente associados aos açúcares presentes, assim como, de sua higroscopicidade Da Costa (1987).

**Tabela 1.** Composição físico-química de pós de beterraba, abóbora e cenoura.

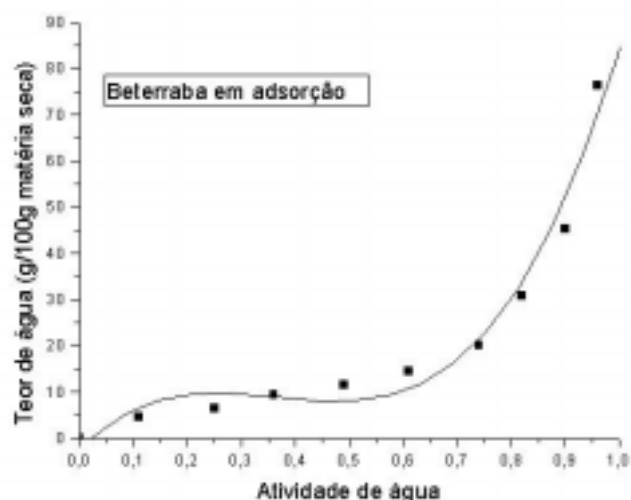
Pós	Beterraba	Abóbora	Cenoura
Umidade (%)	13,0	13,3	7,2
Proteína (%)	10,6	9,5	7,2
Lipídios (%)	0,4	1,0	1,2
Fibra (%)	16,1	7,1	12,3
Cinza (%)	9,7	4,2	8,3

No que concerne ao teor de proteína dos três pós, o de cenoura foi o que apresentou um teor mais baixo. Os teores de lipídios de abóbora e cenoura são próximos, enquanto, o de beterraba corresponde a aproximadamente metade dos mesmos. Os teores de cinza da beterraba e da cenoura são relativamente próximos, enquanto, o da abóbora corresponde à metade do valor dos dois pós anteriormente citados.

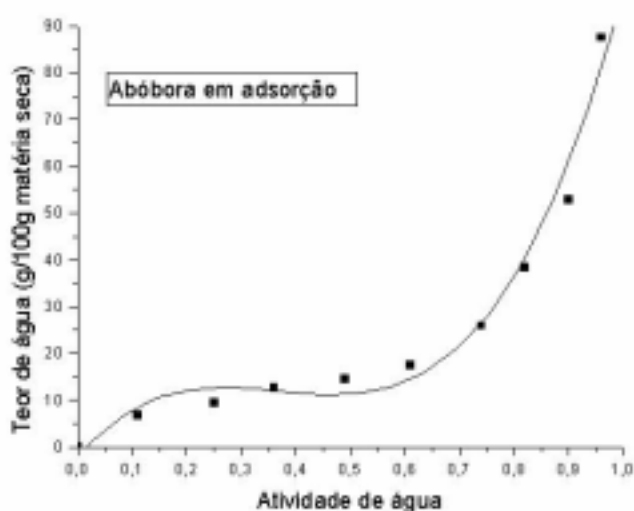
As isotermas de adsorção a 25 °C dos pós de beterraba, abóbora e cenoura e seus valores do teor de água de equilíbrio a diferentes atividades de água ( $a_w$ ) são mostrados nas figuras 1, 2 e 3 e na tabela 2, respectivamente. Estas isotermas são obtidas traçando os teores em água de equilíbrio de cada pó em função da  $a_w$ . De uma maneira geral, estas isotermas de adsorção apresentaram uma forma sigmoidal como a maioria dos pós alimentícios. Os teores de água de equilíbrio variaram de 4,5, 76,4; 6,7, 87,5; 7,8, 88,2 nas diferentes  $a_w$ , para os pós de beterraba, abóbora e cenoura, respectivamente (Tabela 2).

As isotermas de adsorção são normalmente divididas em três partes diferentes. Na primeira parte que corresponde a uma  $a_w$  compreendida entre 0 e 0,3, onde observa-se um aumento importante do teor de água com o aumento da  $a_w$ .

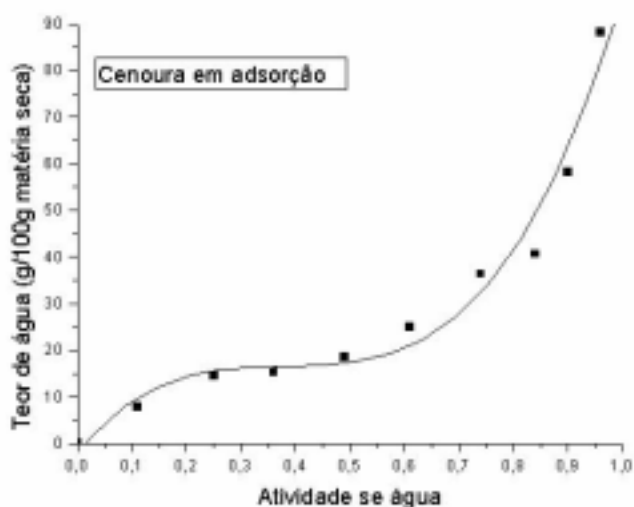
Na segunda parte das isotermas, onde a  $a_w$  varia entre 0,3 e 0,6, observa-se um pequeno aumento do teor de água e uma forte modificação da  $a_w$ .



**Figura 1.** Curva da isoterma de adsorção de vapor de água do pó de beterraba a 25 °C.



**Figura 2.** Curva da isoterma de adsorção de vapor de água do pó de abóbora a 25 °C.



**Figura 3.** Curva da isoterma de adsorção de vapor de água do pó de cenoura a 25 °C.

**Tabela 2.** Teor de água (g/100g matéria seca) de equilíbrio dos pós de beterraba, abóbora e cenoura a diferentes  $a_w$  em adsorção.

$a_w$	Beterraba	Abóbora	Cenoura
0,11	4,5	6,7	7,8
0,25	6,4	9,4	14,4
0,36	9,4	12,6	15,2
0,49	11,5	14,5	18,5
0,61	14,5	17,4	24,9
0,74	20,2	25,9	36,3
0,82	30,8	38,4	40,6
0,90	45,4	52,8	58,2
0,96	76,4	87,5	88,2

Nesta etapa, o pó é hidratado por camadas sucessivas da molécula de água, retida por ligações de hidrogênio cada vez mais enfraquecidas, e também por ligações do tipo Van der Waals (Loisel (1988)). A participação das moléculas de água nesta fase em reações bioquímicas é muito limitada Martin (1991).

Na terceira parte das isotermas, onde a  $a_w$  varia de 0,6 a 1, se constata um forte aumento do teor de água. Este aumento é consequência da presença de substâncias solúveis e da alta porosidade do substrato segundo Loisel (1988) e Riganakos et al. (1994). A água presente nesta fase está ligada por forças de natureza capilar ou osmótica. Esta água se mantém disponível para as reações bioquímicas.

Os resultados obtidos na aplicação do modelo de GAB às isotermas de adsorção dos pós de beterraba, abóbora e cenoura são mostrados na Tabela 3. Os coeficientes de correlação ( $r^2$ ) obtidos para os dados de adsorção dos pós de beterraba, abóbora e cenoura foram, respectivamente, de 0,99; 0,98 e 0,99.

Os valores obtidos pelo modelo de GAB não mostraram diferenças importantes entre os diferentes pós quanto ao teor de água da monocamada ( $W_m$ ). Isto mostra que os pós possuem higroscopiedades semelhantes.

Por outro lado, grandes diferenças foram observadas no que diz respeito a constante de sorção (C). Esta constante é função das interações entre sítios ativos do produto e as moléculas de água Riganakos et al. (1994). A variação encontrada, também pode ser atribuída a granulometria dos pós, já que produtos de granulometria mais fina apresentarão uma maior superfície de contato e, portanto, um maior número de sítios ativos.

Os resultados referentes aos teores de água da monocamada ( $W_m$ ) e do fator de correção (K), são próximos dos valores encontrados para outros pós alimentícios, que utilizaram o modelo de GAB (Riganakos et al. 1994; Loisel, 1988; Da costa, 1997).

**Tabela 3.** Parâmetros de GAB Para os pós de beterraba, abóbora e cenoura a 25 °C.

Pós	Modelo de GAB			
	$W_m$	C	K	$r^2$
Beterraba	0,08	70,50	0,13	0,99
Abóbora	0,09	27,20	0,85	0,98
Cenoura	0,13	15,62	0,77	0,99

## Conclusões

A comparação entre as isotermas de adsorção dos pós de beterraba, abóbora e cenoura mostra que:

- o pó de cenoura apresentou uma higroscopidade ligeiramente mais elevada em toda curva da isoterma de adsorção, que os pós de beterraba e abóbora;
- o modelo de GAB é perfeitamente aplicável para os dados de água de sorção destes pós;
- grandes diferenças foram observadas entre os valores encontrados para as constantes de sorção dos três pós estudados.

## Referências Bibliográficas

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. Washington, 1990. vol.2., 783p.
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de Tecnologia de Alimentos**. Vol. 3. Ed. Atheneu. São Paulo, 1998. 317p.
- COELHO, M. C.; HARNBY, M. The effect of humidity on the from of water retention in powder. **Powder Technology**, Lausanne, v.20, p.197-200. 1978.
- DA COSTA, J. M. C. **Contribution a l'étude des proprietes rhéologiques des farines de blé: influence de la composition, de l'hydratation et de la distribution granulométrique des particules**. 1997. 168p. (Docteur en Biotechnologies et Industries Alimentaires) - Institut National Polytechnique de Loraine, Nancy, France.

DA COSTA, J. M. C.; CAL-VIDAL, J. Caking degree of spray dried coconut milk. **Preconcentration and drying of food materials**. Ed., S. Bruin. **Elsevier Science Publishers**, Amsterdam, p.263-272.1988.

DA COSTA, J. M. C. **Grau de caking e higroscopicidade de leite de coco em pó (*Cocos nucifera*, L.) atomizado**. 1987. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

DE GOIS, V. A.; CAL-VIDAL, J. Water sorption characteristics of freeze dried papaya in powdered and granular forms. **Canadian Institute of Food Science Technology**, v.19, n.1, p.7-11.1986.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions **Journal Research Nature Physics Chemistry**, 81 A. 1977.

ILARI, J. L. Analyse des principales difficultés rencontrées dans le mélange d'ingrédients particuliers en phase sèche. **Laboratoire de Génie**

**des Procédes**, Nantes, France, p.141-148.1995.

LOISEI, C. **Contribution a l'étude des propriétés rhéologiques de quelques poudres alimentaires: influence des contributions hygrométriques**. 1988. 250f. Thèse (Docteur en Sciences et Technologie des Productions Végétales et Alimentaires) - Université de Nantes, Nantes, France.

MARTIN, G. L'eau dans les céréales. In: GODON, B.; WILLIM, C. **Les industries de premier transformation des céréales. Technique et Documentation Lavoisier**, Paris. p.155-156. 1991.

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

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W.R. Cost 90 European Cooperation in Scientific and Technical. Research. In: JOWITT, R. **Physical properties of foods**. London: Applied Science Publication, 1983. p.65-87.