



Isotermas de Adsorção de Matérias Primas e Rações para Matrizes de Postura

Fernando de Castro Tavernari¹
Carina Sordi²
Diego Surek³
Laudete Maria Sartoretto⁴

Introdução

O armazenamento de matérias-primas e rações utilizadas na alimentação de aves nem sempre é feito em condições de ambiente favoráveis à sua conservação. Visando melhorar a eficiência de conservação das matérias-primas, é importante conhecer sua interação com o ambiente, principalmente o fluxo de água (GABBI et al., 2011).

A água está presente no alimento em duas formas: a forma ligada, que tem mobilidade restrita, e a forma livre, que seria a água disponível para reações físicas, químicas e microbiológicas e é passível de interação com o meio. Esta água livre é expressa pela atividade de água (A_w). Já a umidade total é determinada pelo somatório das duas formas. A umidade não é estática, uma vez que o alimento adsorve ou desorve umidade do meio no qual está armazenado, dependendo da temperatura e umidade relativa do ar.

A água presente nas matérias-primas e rações é um fator de risco à qualidade e conservação durante o armazenamento, uma vez que pode propiciar a sua deterioração por meio do desenvolvimento de bactérias, fungos e a produção de micotoxinas. Além disso, dificulta o manuseio e o transporte e dilui os nutrientes, reduzindo proporcionalmente seu valor nutritivo e, conseqüentemente, o desempenho animal e a sua produtividade (CORADI, 2010).

É de fundamental importância o conhecimento da interação dos alimentos com o meio e seu comportamento higroscópico (GABBI et al., 2011). As isotermas de adsorção são modelos matemáticos importantes para a predição da interação do produto com o ambiente, permitindo determinar uma condição ideal de umidade do ambiente em que a matéria prima é armazenada, a fim de reduzir o risco de crescimento microbiológico e a perda do valor nutritivo (PARK et al., 2008). As características das isotermas de ad-

¹Zootecnista, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

²Agrônoma, mestranda em Zootecnia pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, SC

³Zootecnista, doutor em Ciências Veterinárias, analista da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

⁴Engenheira Agrônoma, doutora em Ciências Biológicas, professora da FACC- Faculdade Concórdia, Concórdia, SC

sorção demonstram a capacidade de um material absorver ou liberar água para o meio, o que é observado em atmosferas de umidade relativa e temperatura controladas (MEDEIROS et al., 2006).

Assim, objetivou-se determinar as isotermas de adsorção das matérias-primas comumente utilizadas em dietas de matrizes de postura.

Materiais e métodos

Localização

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análises Físico-Químicas da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia/SC, sendo as amostras provenientes de coletas de matérias-primas na Fábrica de Rações da unidade.

Matérias-primas

Para a obtenção das isotermas, foram utilizadas as principais matérias-primas para a fabricação de rações de matrizes de postura: milho, farelo de soja, farelo de trigo, farelo de arroz, inativador de micotoxinas, sal, cloreto de colina, fosfato bicálcico, cálcio calcítico, L-lisina, caulin industrial, BHT, bacitracina de zinco, fitase, coccidiostático, DL-metionina, L-valina, L-treonina, L-triptofano, suplemento mineral, suplemento vitamínico, suplemento mineral vitamínico e rações de galo e galinhas em postura nas formas físicas farelada e peletizada.

Coleta de matérias-primas

Durante o período experimental, a temperatura (T°C) e umidade relativa (UR%) da sala de medicamentos e área de armazenamento de matérias-primas em sacaria da fábrica de ração passaram por monitoramento, utilizando data logger (Equipamento Testo – 174 H), programados para realizar medições a cada 30 minutos. Foram coletadas semanalmente amostras de três matérias-primas (aproximadamente 100 gramas) e armazenadas em embalagens plásticas.

Determinação de atividade de água e umidade

Uma amostra de cada matéria-prima e das rações foram analisadas na condição de coleta, determinando atividade de água (Aw) e umidade (UM%), em base natural. Oito amostras de cada material, com peso

aproximado de cinco gramas, foram acondicionadas em cápsulas plásticas, específicas do equipamento de Aw e submetidas à desidratação em dessecador contendo sílica-gel, sob vácuo, à temperatura de 30°C por mais de 24 horas em estufa do modelo 002 CB. Depois deste período, transferiu-se as amostras para dessecador contendo água na base e as mesmas foram levadas novamente para a estufa, sendo retirada uma amostra de cada matéria-prima em tempos crescentes 0; 1; 3; 5; 7; 8; 30; 24 e 26 horas após o início. Após a retirada da estufa, a amostra foi pesada em balança analítica e seguiu para a câmara de medição do equipamento para a determinação da Aw. Depois de determinar a Aw, as amostras foram submetidas à análise de matéria seca para obtenção da UM%, permanecendo por 12 horas em estufa de secagem a 105°C, passando novamente por pesagem. O valor foi expresso na base natural e seca. Esse procedimento foi repetido três vezes para cada uma das matérias-primas. Foi monitorada a UR% e a T°C dentro dos dessecadores utilizando data logger (Equipamento Testo – 174 H).

Determinação das isotermas de adsorção

Os dados de Aw e UM% das amostras submetidas à umidificação foram avaliados utilizando os modelos matemáticos de GUGGENHEIM-ANDERSON - DE BOER- GAB (MAROULIS et al., 1988), BRUNAUER, EMMET E TELLER- BET (PARK; NOGUEIRA, 1992), Halsey (CHIRIFE; IGLESIAS, 1977), Kunh (CHIRIFE; IGLESIAS, 1977), Henderson (CHIRIFE; IGLESIAS, 1977), Oswin (CHIRIFE; IGLESIAS, 1977), Mizrahi (CHIRIFE; IGLESIAS, 1977) e Smith (CHIRIFE; IGLESIAS, 1977), com auxílio da ferramenta SOLVER (disponível no Microsoft Excel), constituindo a isoterma para cada uma das matérias primas. O modelo matemático de GAB (análise de regressão não linear - equação 01) foi o único modelo que se ajustou aos dados experimentais para a constituição da isoterma de adsorção. Este modelo foi escolhido com base no maior valor do coeficiente de determinação (R2).

Equação 01

$$UM\% = m_0 \cdot c \cdot k \cdot a_w / [(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 + (c - 1) \cdot k \cdot a_w)]$$

Em que:

UM%: umidade

m₀: monocamada

a_w: atividade de água

c e k: constantes

Resultados e discussão

Os dados de umidade e atividade de água das matérias-primas em condição de coleta na fábrica de rações estão apresentados na Tabela 1. É possível ve-

rificar que as rações farelada e peletizada, tanto a de galo como a das aves em postura, bem como os ingredientes milho, farelo de soja, farelo de trigo, farelo de arroz e BHT apresentam elevada umidade.

Tabela 1. Atividade de água e umidade das matérias-primas em condição de coleta na fábrica de ração.

Matéria-prima	Atividade de água (Aw)	Umidade em base natural	Umidade em base seca
Ração peletizada postura	0,766	12,94	14,87
Sal	0,729	1,46	1,48
Ração peletizada galo	0,720	12,53	14,33
Ração farelada postura	0,713	11,90	13,51
Caulin industrial	0,711	1,95	1,99
Farelo de soja	0,649	11,75	13,31
Ração farelada galo	0,646	11,49	12,98
Farelo de trigo	0,641	11,41	12,88
Milho	0,639	12,66	14,50
Fosfato	0,639	4,52	4,74
Farelo de arroz	0,602	10,20	11,35
Calcário	0,575	0,06	0,06
L- Triptofano	0,566	0,18	0,18
Inativador de micotoxinas	0,552	6,25	6,67
Suplemento vitamínico	0,541	3,83	3,98
Suplemento mineral	0,536	3,09	3,18
Fitase	0,529	8,94	9,82
DL- Metionina	0,526	0,10	0,10
L-Valina	0,507	0,14	0,14
L- Treonina	0,505	0,05	0,05
Suplemento mineral vitamínico	0,483	4,30	4,50
BHT	0,482	30,50	43,89
L- Lisina	0,444	1,56	1,58
Coccidiostático	0,426	5,75	6,10
Bacitracina de zinco	0,333	5,62	5,96
Cloreto de colina	0,150	1,45	1,47

A elevada umidade relativa no ambiente da fábrica de ração durante o período de inverno pode explicar os valores elevados de atividade de água e umidade (em base natural) das matérias-primas e das rações em condição da coleta (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de temperatura e umidade relativa máxima, média e mínima da sala de armazenamento em sacarias e da sala de medicamentos da fábrica de ração.

Variável ambiental	Temperatura (°C)			
	Verão		Inverno	
	Sala sacarias	Sala medicamentos	Sala sacarias	Sala medicamentos
	Temperatura (°C)			
Máxima	33,7°C	28,8°C	23,0°C	19,2°C
Média	26,3°C	26,3°C	14,5°C	15,8°C
Mínima	20,3°C	23,4°C	8,2°C	12°C
	Umidade relativa (UR%)			
Máxima	92,10%	87,70%	81,20%	80,20%
Média	76,03%	74,70%	67,50%	68,30%
Mínima	49,50%	63,50%	43,20%	56,10%

Em relação à atividade de água, os maiores valores encontrados para as matérias-primas foram: 0,766; 0,729; 0,720; 0,713; 0,711; 0,649; 0,646 e 0,641 para ração peletizada postura, sal, ração peletizada galo, ração farelada postura, caulim industrial, farelo de soja, ração farelada galo e farelo de trigo, respectivamente.

De acordo com Krist et al. (1999), alimentos que apresentem valores de atividade de água entre 0,600 e 0,850 são considerados intermediários, e aqueles com valores menores que 0,600 são tidos como de baixa atividade de água. Portanto, verifica-se que os dados encontrados se enquadram na faixa de alimen-

tos de atividade de água intermediária ($0,60 < A_w < 0,85$) e de baixa atividade de água ($A_w < 0,60$). Lima e Sant'ana (2011), em trabalho com peixes salgados e secos, encontraram valores de atividade de água intermediária com variação de 0,74 a 0,75.

Na Tabela 3, estão apresentadas as constantes de ajuste do modelo matemático de GAB (X_m , C e K) para as isotermas de adsorção. Alexandre et al. (2007), trabalhando com isotermas de pitanga em pó, e Moreira et al. (2013), em trabalho com isotermas de pó de polpa de manga liofilizada, também observaram melhor ajuste dos dados experimentais pelo modelo matemático de GAB.

Tabela 3. Estimativa para os parâmetros de ajuste do modelo matemático de GAB (X_m , C e K) para as isotermas de adsorção.

Material	X_m^1	C ²	K ³	R ²
Inativador de micotoxinas*	3,131	19,280	0,901	0,99
Inativador de micotoxinas**	3,210	18,539	0,931	0,99
Cloreto de colina*	57,440	0,826	0,573	0,97
Cloreto de colina**	52,910	0,660	0,780	0,98
Caulin*	0,533	2,936	0,969	0,57
Caulin**	0,540	2,749	0,974	0,57
Bacitracina de zinco*	4,370	12590,000	0,856	0,99
Bacitracina de zinco**	4,570	2786,500	0,896	0,99
Suplemento vitamínico*	1,773	95044,000	0,877	0,99
Suplemento vitamínico**	1,797	44430,000	0,894	0,99
Suplemento mineral postura*	2,814	8,019	0,961	0,96
Suplemento mineral postura**	3,471	2,944	0,962	0,96
Suplemento mineral*	0,741	17460,000	1,256	0,82
Suplemento mineral**	0,756	3290,900	1,264	0,83
Ração farelada postura*	5,002	559,200	0,812	0,99
Ração farelada postura**	5,282	424,900	0,853	0,99
Ração peletizada postura*	4,902	10276,000	0,819	0,99
Ração peletizada postura**	5,147	1593,200	0,862	0,99

Material	X_m^1	C^2	K^3	R^2
Ração peletizada galo*	5,839	372,390	0,747	0,99
Ração peletizada galo**	6,183	603,910	0,794	0,99
Ração farelada galo*	5,739	4806,900	0,771	0,98
Ração farelada galo**	6,102	1349,200	0,817	0,98
Milho*	7,055	28,439	0,704	0,97
Milho**	7,599	23,719	0,756	0,97
Farelo de soja*	4,625	1323,400	0,911	0,99
Farelo de soja**	4,843	748,900	0,955	0,99
Farelo de trigo*	5,365	87,817	0,861	0,97
Farelo de trigo**	5,656	80,400	0,911	0,96
Farelo de arroz*	4,627	146,030	0,872	0,99
Farelo de arroz**	4,841	136,660	0,915	0,98
Calcário*	0,024	199920,000	0,957	0,81
Calcário**	0,024	34622,000	0,957	0,81
Fosfato*	2,346	258942,000	0,628	0,31
Fosfato**	2,325	110208,000	0,663	0,31
Fitase*	4,754	71,622	0,848	0,99
Fitase**	4,971	67,362	0,892	0,99
Coccidiostático*	3,437	125,930	0,935	0,99
Coccidiostático**	3,587	96,241	0,966	0,99
Sal*	10,988	0,002	1,270	0,89
Sal**	11,365	0,002	1,272	0,90
L-Lisina*	25,460	0,063	0,869	0,94
L-Lisina**	29,320	0,057	0,887	0,94
DL-Metionina*	0,052	158,120	0,957	0,76
DL-Metionina**	0,052	135,460	0,957	0,76
L-Treonina*	0,390	0,006	1,008	0,94
L-Treonina**	0,018	1104,900	1,034	0,97
L-Valina*	0,056	4659,000	1,008	0,91
L-Valina**	0,056	6714,100	1,008	0,91
L-Triptofano*	0,067	2550,500	0,982	0,94
L-Triptofano**	0,067	5078,700	0,983	0,94

1 Umidade na monocamada; 2, 3 constantes.

*umidade na base natural; **umidade na base seca.

A umidade na monocamada (X_m) refere-se à quantidade de água que está fortemente adsorvida sobre os sítios primários, considerada como a umidade onde o alimento é mais estável (KECHAOU; MAALEJ, 2000). A partir da umidade da monocamada, é possível verificar o menor teor de água contido em cada alimento. Segundo Goula et al. (2008), a umidade na monocamada é aquela que proporciona (em determinada temperatura) a maior estabilidade e perdas mínimas da qualidade do alimento. O parâmetro X_m é importante, pois pode ser relacionado com o início de uma série de reações químicas de deterioração dos alimentos (FERREIRA; PENA, 2003). O aumento da

umidade na monocamada com aumento da temperatura não é comum a todos os alimentos, comportamento que pode ser explicado visto que, segundo Ferreira e Pena (2003), um aumento na temperatura pode provocar modificações na estrutura física do produto, disponibilizando maior quantidade de sítios ativos com afinidade por moléculas de água ou aumentar a solubilidade de solutos no produto, restando desta forma mais moléculas de água na monocamada.

As constantes C e K do modelo de GAB relacionam-se ao efeito da temperatura. Conforme Moraga et al. (2004), C é a constante que está relacionada ao calor de sorção na monocamada e K refere-se ao calor de sorção na multicamada. Segundo Gabas et al. (2007), baixas temperaturas favorecem a força de interação entre adsorvato-adsorvente causando um certo aumento nos valores da constante C. Timmermann (2003) afirma que a constante K do modelo de GAB aumenta com a força de interação entre adsorvato-adsorvente e valores maiores que 1 são fisicamente inadequados, indicando uma sorção infinita.

Em relação à determinação das isotermas de adsorção das matérias-primas utilizadas na formulação das dietas e das rações farelada e peletizada para galos e aves em postura, pode-se verificar que há um comportamento semelhante no formato das isotermas obtidas para todos os materiais. De acordo com a classificação da IUPAC (1985), as isotermas podem apresentar cinco formatos distintos. De maneira geral, os resultados experimentais das isotermas de adsorção evidenciaram curvas com comportamento sigmoide, portanto isotermas do tipo II, características de produtos solúveis, proteicos e farináceos, comum também a produtos alimentícios (IUPAC, 1985).

Segundo Brunauer et al. (1938), estas curvas indicam o tipo de forças que intervêm na ligação da água com a superfície do material higroscópico e possibilita realizar avaliações da sua estrutura superficial, estabilidade no período de armazenamento, além de fornecer informações para projetar embalagens adequadas, que garantam uma melhor conservação do produto. Assim, considerando que a formulação das rações para aves leva em conta o ingrediente em base natural, deve-se ter um cuidado especial com a umidade de matérias-primas, uma vez que pode haver diferenças entre o formulado e o que é consumido pelo animal, em função da absorção de água.

Isotermas de adsorção de macroingredientes e rações

De acordo com Karel (1975), a partir de 0,600 de atividade de água se dá o início do crescimento de microrganismos. Desta forma, as matérias-primas e rações com valores de atividade de água inferior a 0,600 estão assegurados quanto ao crescimento de fungos, bolores e bactérias.

As isotermas de adsorção (Figuras 1 e 2) demonstram que o milho, farelo de trigo, farelo de soja, farelo de arroz, ração de galo farelada, ração de galo peletizada, ração farelada para aves em postura e ração peletizada para aves em postura estarão estáveis microbiologicamente ($A_w < 0,6$), quando apresentarem umidade inferior a 11,66; 10,98; 10,19; 9,64; 10,67; 10,54; 9,73 e 9,63%, respectivamente.

Verifica-se que em baixas atividades de água as matérias-primas adsorvem pequenas quantidades de água, e em alta atividade de água existe um aumento acentuado da quantidade de água adsorvida, resultado encontrado também por Cardoso (2012), trabalhando com farinhas mistas de arroz e bagaço de cevada.

Além disso, a adição de água no processamento de extrusão, por exemplo, resulta em aumento da umidade e atividade de água de rações, afetando o valor nutricional da proteína de dietas (MURAKAMI, 2010).

Ainda, é importante ressaltar que as isotermas apresentaram em sua porção final, que corresponde às atividades de água mais elevadas, um comportamento mais higroscópico, caracterizando uma ascensão da curva. Este mesmo comportamento foi verificado por Santos et al. (2004) ao estudarem a adsorção de água em farinhas de mandioca temperadas.

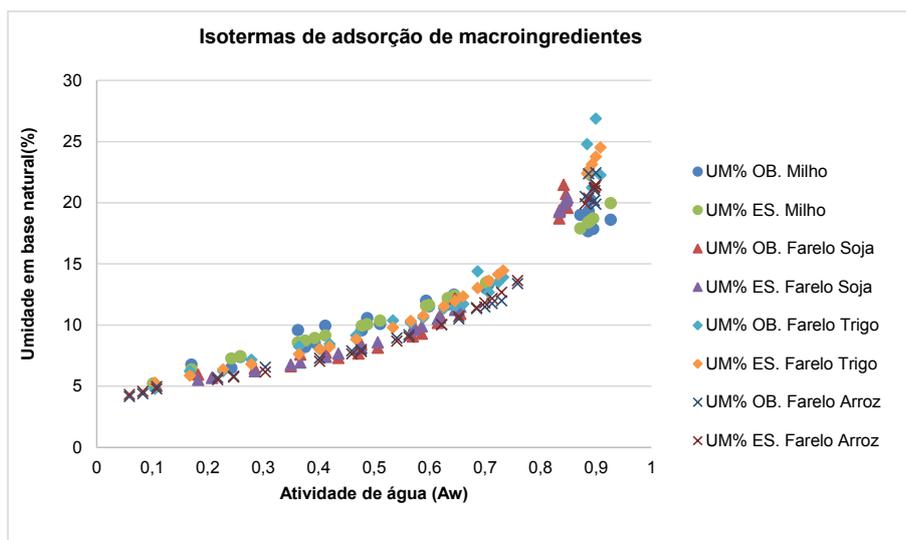


Figura 1. Isotermas de adsorção de macroingredientes (milho, farelo de soja, farelo de trigo e farelo de arroz) em base natural, em que UM% OB: umidade observada; UM% ES: umidade estimada.

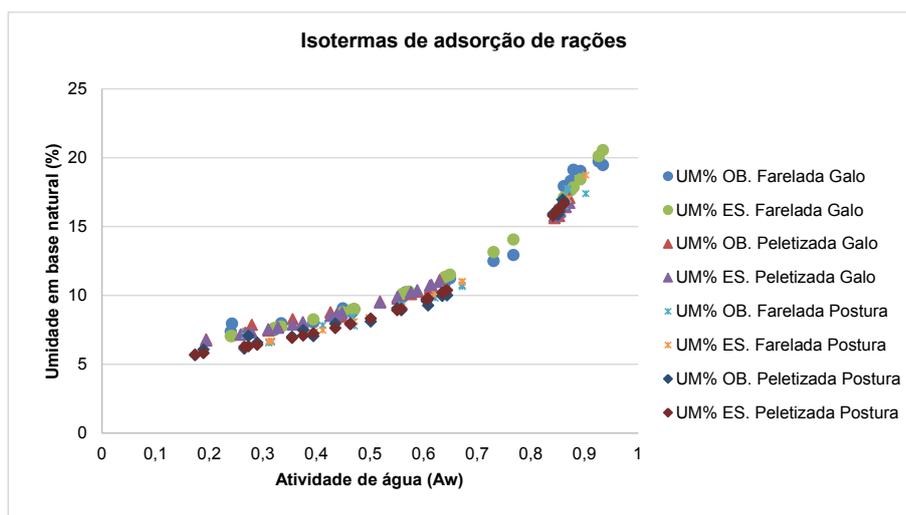


Figura 2. Isotermas de adsorção de rações (ração farelada galo, ração peletizada galo, ração farelada postura e ração peletizada postura) em base natural, em que UM% OB: umidade observada; UM% ES: umidade estimada.

Isotermas de adsorção de aminoácidos

As isotermas de adsorção dos aminoácidos (Figura 3) demonstram que L-valina, L-treonina, L-triptofano, L-lisina HCl e DL-metionina estarão estáveis microbiologicamente ($A_w < 0,6$) quando apresentarem umidade inferior a 0,1409; 0,0088; 0,1643; 3,43 e 0,1209%, respectivamente.

Pequenos decréscimos de umidade de equilíbrio podem ser verificados com o aumento da temperatura. Ferreira e Pena (2003) justificaram este comportamento baseando-se no aumento da pressão de vapor da água no ar e na superfície do produto, tendo em vista que este aumento é maior na superfície do produto, já que possui maior número de moléculas de água que no ar. Assim, a maior pressão de vapor resulta em maior perda de água, para que se atinja o equilíbrio.

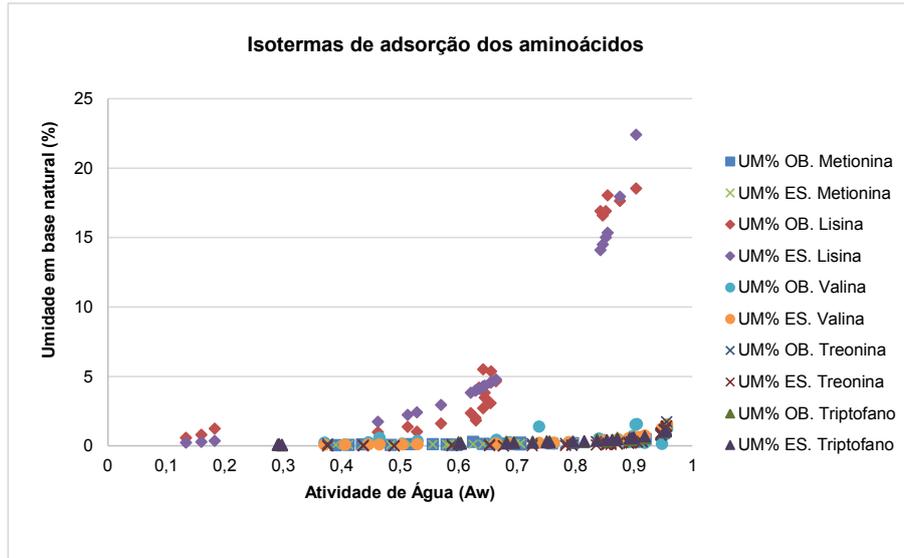


Figura 3. Isotermas de adsorção de aminoácidos (metionina, lisina, valina, treonina e triptofano) em base natural, em que UM% OB: umidade observada; UM% ES: umidade estimada.

Isotermas de adsorção de suplementos

As isotermas de adsorção dos suplementos estão apresentadas na Figura 4. Em relação à estabilidade microbiológica ($A_w < 0,6$) dos suplementos, pode-se verificar que o suplemento vitamínico estará estável quando apresentar umidade inferior a 3,74%, suplemento mineral vitamínico 6,09% e suplemento mineral quando estiver abaixo de 3,00%.

Para uma dada temperatura, é possível verificar que o teor de umidade do produto aumenta com a atividade de água. Segundo Medeiros et al. (2006), isso ocorre já que a pressão de vapor da água presente no produto acompanha o aumento da pressão de vapor do meio que o mesmo está inserido.

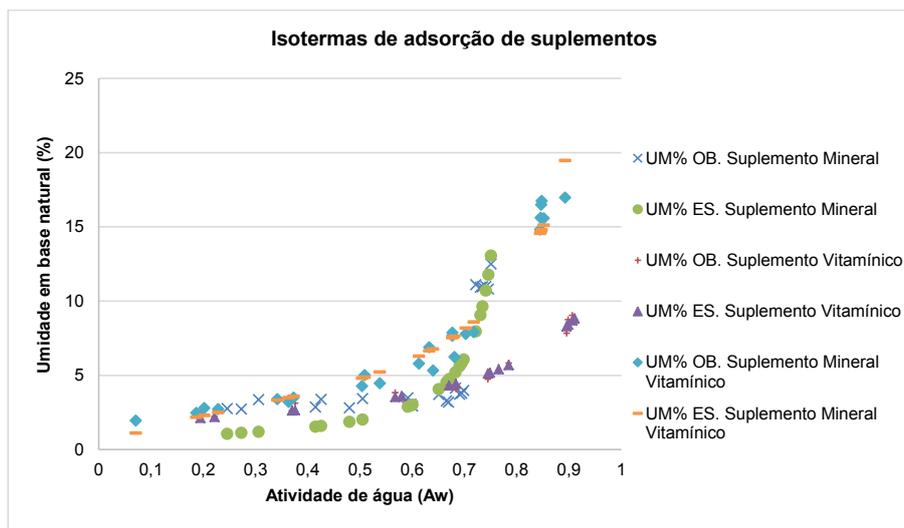


Figura 4. Isotermas de adsorção de suplementos (suplemento mineral, suplemento vitamínico e suplemento mineral vitamínico) em base natural, em que UM% OB: umidade observada; UM% ES: umidade estimada.

Isotermas de adsorção de aditivos

As isotermas de adsorção dos aditivos (Figuras 5 e 6) utilizados na formulação de rações demonstram que o inativador de micotoxinas cloreto de colina; caulín industrial; bacitracina de zinco; calcário; fosfato; fitase; coccidiostático; sal e BHT estarão estáveis microbiologicamente ($A_w < 0,6$) quando apresentar umidade inferior a 6,52; 26,64; 1,021; 8,98; 0,055; 3,76; 9,55; 7,77; 0,3304 e 26,51 %, respectivamente.

Para o BHT, os dados obtidos não se ajustaram para a determinação da isoterma de adsorção, ou seja, apresentou valores onde não foi possível observar a absorção de umidade pela matéria-prima.

Em relação ao cloreto de colina, matéria-prima com a mais elevada higroscopicidade, é necessário que se tenha atenção, já que o aumento no teor de água livre na mistura pode acarretar perdas de vitaminas hidrossolúveis, além de problemas operacionais na fábrica de rações.

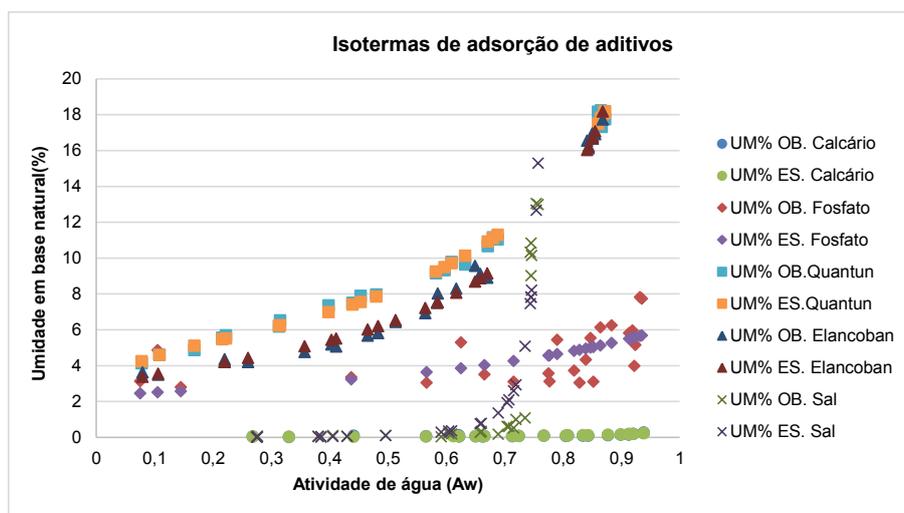


Figura 5. Isotermas de adsorção de aditivos (calcário, fosfato, fitase, coccidiostático e sal) em base natural, em que UM% OB: umidade observada; UM% ES: umidade estimada.

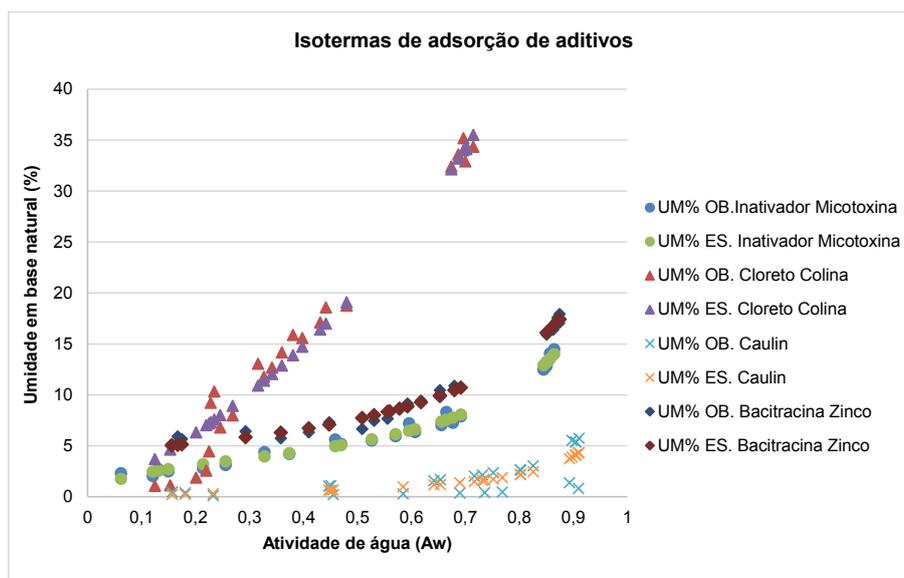


Figura 6. Isotermas de adsorção de aditivos (inativador de micotoxinas, cloreto de colina, caulín e bacitracina de zinco) em base natural, em que UM% OB: umidade observada; UM% ES: umidade estimada.

Umidade absorvida pelas matérias-primas

A porcentagem de umidade absorvida pelas matérias-primas (em base natural) foi determinada, para a grande parte dos ingredientes, na faixa de A_w entre 0,5 a 0,7. Foi também determinada na faixa de A_w entre 0,6 a 0,8. A diferença na utilização de duas faixas se deve ao fato de verificar os maiores picos de aumento de umidade nesses pontos.

Para L-treonina, calcário, BHT, DL-metionina, L-valina, L-triptofano, fosfato, caulim industrial, coccidios-tático a faixa de A_w utilizada foi de 0,6 a 0,8. Já para suplemento vitamínico, sal, inativador de micotoxinas, ração peletizada galo, ração farelada galo, ração farelada postura, ração peletizada postura, milho, bacitracina de zinco, suplemento mineral vitamínico, fitase, farelo de arroz, farelo de trigo, suplemento mineral, farelo de soja, L-Lisina, cloreto de colina, a faixa de A_w foi de 0,5 a 0,7 (Tabela 4).

Tabela 4. Higroscopicidade das matérias primas.

Matérias-primas	Umidade absorvida
L-Treonina	0,04%
Calcário	0,05%
BHT	0,06%
DL-Metionina	0,10%
L-Valina	0,14%
L-Triptofano	0,15%
Fosfato	0,96%
Caulim industrial	1,13%
Suplemento vitamínico	1,44%
Sal	1,64%
Inativador de micotoxinas	2,87%
Ração peletizada galo	2,95%
Ração farelada galo	3,13%
Ração farelada postura	3,17%
Ração peletizada postura	3,18%
Milho	3,21%
Bacitracina de zinco	3,27%
Suplemento mineral vitamínico	3,34%
Fitase	3,49%
Farelo de arroz	3,69%
Farelo de trigo	4,12%
Suplemento mineral	4,15%
Farelo de soja	4,28%
Coccidiostático	5,81%
L-Lisina HCl	7,22%
Cloreto de colina	25,89%

Conclusão

Ingredientes e dietas têm diferentes comportamentos higroscópicos, o que pode levar à deterioração e baixa precisão nos valores nutricionais da dieta, uma vez que a formulação é baseada na matéria natural.

Referências

- ALEXANDRE, H. V.; MARIA, R.; FIGUEIRÊDO, F.; JOSÉ, A. E.; QUEIROZ, D. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p. 11–20, 2007.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of American Chemical Society**, v.60, n.2, p.309-319, 1938.
- CARDOSO, F. F. **Propriedades de adsorção de água em farinhas mistas de arroz e bagaço de cevada pré-gelatinizadas por extrusão termoplástica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO.
- CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 – A review. **Journal of Food Technology**, v.13, n.2, p.159-174, 1978.
- CORADI, P. C. **Avaliação de uma fábrica de ração para aves: instalações, processo e produto final**. 2010. 191 f. Tese (Doctor Scientiae) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 251-255, 2003.
- GABAS, A. L.; TELIS, V. R. N.; SOBRAL, P. J. A.; TELIS, R. J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 246–252, 2007.

GABBI, A. M.; CYPRIANO, L.; PICCININ, I. Aspectos microbiológicos e físico-químicos de três rações comerciais sob diferentes condições de armazenamento. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, p. 784-793, 2011.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D., ADAMO-POULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 73-83, 2008.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting Physisorption data for gas solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. **Pure & Applied Chemistry**, v. 57, p. 603-619, 2008.

KAREL, M. Water activity and food preservation. In: FENEMA, O.R.(Ed.) **Principles of food science**; physical principles of food preservation. New York: Marcel Dekkar, 1975. v.4, p. 237-265.

KECHAOU, N.; MAALEJ, M. Desorption isotherms of tunisia deglet nour dates application of the GAB theory. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.3, p.73-77, 2000.

KRIST, K. A.; NICHOLS, D. S.; ROSS, T. Ecology of bacteria and fungi in foods: Influence of available water. In: **Encyclopedia of Food Microbiology**, p. 540-547, 1999.

LIMA, E. J. V. M.; SANT'ANA, L. S. Determinação de atividade de água, umidade e sal em peixes salgados e secos importados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.14, p. 125-129, 2011.

MAROULIS, Z. B.; TSAMI, E.; ARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS, G. D. Application of the GAB model to the sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v.7, n.1, p.63-70, 1988.

MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. M.; SILVA, S. C. D. Sorption isotherms of cocoa and cupuaçu products. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 402-406, 2006.

MORAGA, G.; MARTÍNEZ, N. N.; CHIRALT, A. Water sorption isotherms and glass transition in strawberries: influence of pretreatment. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 15-321, 2004.

MOREIRA, T. B.; ROCHA, É. M. F. F.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1093-1098, 2013.

MURAKAMI, F. Y. **Impacto da adição de água no processo de extrusão sobre a digestibilidade e propriedades físico-química da dieta para cães**. 2010. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PARK, K. J. B.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J.; NOGUEIRA, R. I. Modelos para ajuste de isotermas de sorção de alimentos. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.3, n.1, p.80-6, 1992.

SANTOS, F. S. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.6, p. 149-155, 2004.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? **Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 220, p. 235-260, 2003.

Comunicado Técnico, 547

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Suínos e Aves
Endereço: BR 153, Km 110,
Distrito de Tamanduá, Caixa Postal 321,
89.715-899, Concórdia, SC
Fone: 49 3441 0400
Fax: 49 3441 0497
www.embrapa.br/fale-conosco/sac



1ª edição
Versão Eletrônica: (2017)

Comitê de Publicações

Presidente: Marcelo Miele
Membros: Airton Kunz, Ana Paula A. Bastos, Gilberto S. Schmidt, Gustavo J.M.M. de Lima e Monalisa L. Pereira
Suplente: Alexandre Matthiensen e Sabrina C. Duarte

Revisores Técnicos

Gerson Neudí Scheuermann e João Dionísio Henn

Expediente

Coordenação editorial: Tânia M.B. Celant
Editoração eletrônica: Vivian Fracasso
Revisão gramatical: Lucas S. Cardoso
Normalização bibliográfica: Cláudia A. Arrieche