

# CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

## ANÁLISE DE FLUXO DE RAÇÃO AVÍCOLA E FARELO DE TRIGO EM SILOS PRISMÁTICOS

Ivanoska Salgado de Assis Bandeira<sup>1</sup>, José Wallace Barbosa do Nascimento<sup>2</sup>  
& Francisco de Assis Santos e Silva<sup>3</sup>

### RESUMO

Objetivando-se analisar o comportamento do fluxo de ração avícola e farelo de trigo, foi confeccionado um modelo reduzido de silo prismático, com paredes em acrílico transparente e conformação zigzag. No presente trabalho determinou-se, também, a vazão média dos produtos em função da altura do corpo do silo. Para obtenção dos resultados da análise de fluxo foram feitas seqüências fotográficas do produto original, intercalado por camadas do produto tingido de vermelho, enquanto para a vazão média de descarga foi adotado o delineamento estatístico inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 3 x 3 x 2 (teor de gordura, relação altura/lado e área do orifício de saída) com três repetições, cujos resultados mostraram que o acréscimo do teor de gordura e a área do orifício de descarga do modelo influenciaram no tipo de fluxo dos produtos estudados.

**Palavras-chave:** fluxo, ração, farelo de trigo, modelo reduzido

### ANALYSIS OF FLOW OF AVIAN RATION AND WHEAT BRAN IN PRISMATIC SILOS

### ABSTRACT

With the objective to evaluate the behavior to the flow of the avian ration and wheat bran, a reduced model of prismatic silos was made with a zigzag conformation of transparent material. The present work also had an objective the determination of the mean outflow of bulk solids, as well as their physical properties: humidity proportion, granulometry, consolidated density, angle of internal friction, effective angle of internal friction, kinetic angle of friction on a wall surface, flow function and flow factor. To obtain results of flux analysis, photographic sequences of the original product inserted by layers of bulk solids stained in red were made. For the mean flow of discharge a completely randomized factorial design in 3 x 3 x 2 (fat proportion, relation height/side and transversal sections of the exit mouth), with three repetitions was adapted. The results obtained showed that the increase in fat proportion and the transversal section of the exit mouth influenced in kind of flow of the studied bulk solids.

**Key words:** flow, ration, wheat bran, reduced model

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Agrícola, Rua Lino Gomes Filho 255, Santo Antônio, CEP 58103 - 333, Campina Grande, PB

<sup>2</sup> Professor Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba, Av. Aprígio Veloso 882, CP 10087, CEP 58109 - 725, Campina Grande, PB, Fone: (083) 310 1312, Fax: (083) 310 1185, E-mail: wallace@deag.ufpb.br

<sup>3</sup> Professor Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Paraíba. Fone: (083) 310 1194, Fax: (083) 310 1185

## INTRODUÇÃO

A armazenagem de ração constitui recurso de grande importância para empresas de processamento de produtos agrícolas e produtores de frango. Do ponto de vista econômico, é justamente sobre o fator alimentação que recai a maior parcela dos significativos ônus da produção avícola, fazendo com que os benefícios finais da criação sejam sensíveis, conforme variem a eficiência das rações utilizadas e, mais especificamente, os seus custos de produção; por isto, existe a preocupação das fábricas de ração em melhorarem o processo de industrialização desses produtos, adotando ou introduzindo tecnologia de fabricação ou construção de silos, cujo objetivo é utilizar o máximo da potencialidade dessas matérias-primas.

Atualmente, o Brasil se destaca no contexto mundial com a produção de frangos e suínos, ocupando posição como principal exportador na América Latina. Esta produção depende, essencialmente, de ração industrializada; daí a importância do país possuir tecnologia de construção de silos para fábricas de ração. Nos dias de hoje, a maioria, ou quase todas as fábricas brasileiras, é do tipo horizontal; enquanto isto, nos países desenvolvidos a predominância é de fábricas do tipo vertical, com capacidade de até  $150 \text{ t h}^{-1}$ , para atender ao mercado sempre crescente (Calil Júnior et al., 1997).

Nos últimos anos, o setor de fabricação de ração tem dado ênfase à sua formulação, para que a mesma ofereça bom desempenho aos animais nas suas respectivas fases. Tem-se observado que o teor de gordura está sendo incrementado a cada ano. Neste contexto, a determinação do teor de gordura da ração é de fundamental importância para projetar o tipo de fluxo durante a descarga. O conhecimento preciso do comportamento do fluxo é de essencial importância para dimensionar corretamente silos industriais para rações, permitindo um descarregamento uniforme, sem segregações, sem parada no processo industrial e desbalanceamento das rações; portanto, é necessário a utilização de fluxo de massa.

Tratando-se de instalações para o armazenamento de produtos pulverulentos, a pesquisa experimental sugere que cuidados especiais devem ser tomados no dimensionamento de silos, pois os mesmos apresentam problemas de fluxo (Nascimento, 1996).

Devido ao grande número de indústrias no mundo com problemas de fluxo e ao número limitado que dá importância ao equipamento projetado, além do conhecimento das propriedades físicas dos produtos pulverulentos, é evidente que o problema existe nos estágios de projeto e seleção de equipamentos (Bandeira, 1997)

Quando a teoria e a prática são deficientes, os modelos reduzidos de silo podem oferecer linhas de ações úteis para que os problemas desses produtos sejam entendidos.

O objetivo do presente trabalho foi analisar o comportamento do fluxo de ração avícola e do farelo de trigo, com diferentes teores de gordura, em modelo reduzido de silo prismático com paredes conformadas em ziguezague e determinar a vazão média de descarga para as relações altura/lado ( $H/L$ ) iguais a 1,76, 3,5 e 5,3.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para se analisar o comportamento do fluxo das rações e do farelo de trigo, foi confeccionado um modelo reduzido de silo prismático, em que o material utilizado foi acrílico transparente, com 0,17 cm de espessura. O silo prismático foi confeccionado com seção transversal quadrada, com 34 cm de lado, em três módulos de 60 cm de altura, isto é, a altura total do corpo do silo é de 180 cm e a altura das suas colunas de sustentação foi de 110 cm, perfazendo a altura total do modelo de 290 cm. As paredes dos módulos foram conformadas no sentido horizontal, em forma de ziguezague, com inclinação de  $20^\circ$  em relação ao plano vertical. A tremonha foi construída com o mesmo material das paredes do modelo e com inclinação de  $70^\circ$  com o plano horizontal. Para o orifício de descarga do modelo, foram dimensionadas duas áreas:  $16 \text{ cm}^2$  e  $64 \text{ cm}^2$ .

Os produtos utilizados foram o farelo de trigo e dois tipos de ração para frango; o farelo de trigo foi adquirido no comércio local, enquanto as rações utilizadas foram fornecidas pela fábrica Guarabira Aves Ltda., situada no município de Guarabira, PB. Cada produto apresenta diferentes teores de gordura, usada pela fábrica na composição das rações, em função da idade da ave e do tipo de exploração, corte ou postura.

### Análise do fluxo

O fluxo foi analisado através de seqüências fotográficas e o silo carregado com o produto original intercalado por camadas sucessivas do produto tingido com cores diferentes. A finalidade do tingimento das camadas foi a melhor visualização do escoamento do produto, após a abertura do orifício de descarga (Ravenet, 1992).

### Determinação da vazão média de descarga

As vazões das rações e do farelo de trigo foram determinadas em função das seguintes relações altura/lado: 1,76, 3,5 e 5,3. Inicialmente, o silo foi pesado e, após o carregamento, uniforme e com altura predefinida, foi realizada nova pesagem; em seguida, iniciou-se a descarga e o tempo foi cronometrado.

### Análise estatística

A análise estatística dos dados da vazão média de descarga foi realizada utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $3 \times 3 \times 2$ , com três repetições. Os fatores foram representados pelas combinações: teor de gordura do produto ( $TG_1$  = Teor de gordura da Ração 1;  $TG_2$  = Teor de gordura da Ração 2;  $TG_3$  = Teor de gordura do Farelo de trigo); Relação altura/lado do modelo reduzido ( $H/L_1$  = Relação altura/lado igual a 1,76;  $H/L_2$  = Relação altura/lado igual a 3,5;  $H/L_3$  = Relação altura/lado igual a 5,3); área do orifício de descarga do modelo reduzido ( $ST_1$  = área do orifício de descarga igual a  $16 \text{ cm}^2$ ;  $ST_2$  = área do orifício de descarga igual a  $64 \text{ cm}^2$ ).

A partir da tabulação dos dados, utilizou-se o software ASSISTAT, desenvolvido por Silva (1996) para obtenção da análise estatística.

### Determinação do teor de gordura e de umidade

Para a determinação do teor de gordura, adotou-se a metodologia proposta por Randall (1974). A determinação do teor de umidade foi realizada pelo método oficial da estufa a  $105 \pm 3^\circ \text{C}$ , durante 24 h, efetuando-se três repetições.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Teores de umidade e gordura

Os resultados das determinações dos teores de umidade e de gordura dos produtos são apresentados na Tabela 1. Observa-se, que para cada produto, existe uma relação de proporcionalidade entre os valores dos teores.

Tabela 1. Valores dos teores de umidade e de gordura

Produto	Teor de umidade (%)	Teor de gordura (%)
Ração 1	11,51	7,11
Ração 2	10,50	5,53
Farelo de trigo	09,80	2,65

De acordo com Torres (1987) a proporção de gordura nas rações é, em média, de 2,5 a 6%, porém não deve ultrapassar a 10%, embora não se tenha determinado ainda esse limite com a devida precisão. Com relação ao teor de umidade, o autor afirma que os subprodutos industriais de boa origem, como as farinhas de carne, farelo, torta e outros, contêm de 5 a 10%.

### Vazão média de descarga

Os valores da vazão média de descarga, obtidos nos ensaios realizados, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Vazão média de descarga em função da relação H/L

Teor de gordura/ Produto	Seção transversal da boca de saída					
	ST <sub>1</sub>			ST <sub>2</sub>		
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
Relação H/L = 1,76						
TG <sub>1</sub> /Ração 1	0,00	0,00	0,00	1,59	1,54	1,55
TG <sub>2</sub> /Ração 2	0,00	0,00	0,00	1,56	1,57	1,50
TG <sub>3</sub> /Farelo de trigo	0,17	0,18	0,18	0,79	0,77	0,78
Relação H/L = 3,5						
TG <sub>1</sub> /Ração 1	0,00	0,00	0,00	1,35	1,39	1,44
TG <sub>2</sub> /Ração 2	0,00	0,00	0,00	1,47	1,57	1,45
TG <sub>3</sub> /Farelo de trigo	0,18	0,18	0,17	0,81	0,79	0,78
Relação H/L = 5,3						
TG <sub>1</sub> /Ração 1	0,00	0,00	0,00	1,49	1,55	1,46
TG <sub>2</sub> /Ração 2	0,00	0,00	0,00	1,41	1,42	1,43
TG <sub>3</sub> /Farelo de trigo	0,17	0,18	0,18	0,77	0,78	0,78

Com base nos resultados obtidos nos ensaios, realizou-se a análise de variância da vazão média de descarga das rações e do farelo de trigo, para os diferentes tratamentos. Através desta análise verifica-se que os parâmetros analisados apresentam diferenças estatísticas significativas a nível de 1%, quer entre os fatores, quer para as interações.

Para a comparação das médias foi aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A Tabela 3 contém os dados médios da vazão para os parâmetros analisados. Comparando-se os valores médios dos tratamentos, verifica-se que as vazões para o tratamento teor de gordura das rações não diferem entre si; por outro lado, ocorreu diferença entre a média da vazão do farelo de trigo.

Nas médias das vazões de descarga em função das relações altura/lado, apresentadas na Tabela 3, observa-se que o tratamento relação altura/lado da ração 1 (H/L<sub>1</sub>) diferiu dos demais sem, entretanto, haver destaque. Esta constatação foi feita também por Wang et al. (1995) onde afirmaram que a profundidade dos silos não tem efeito sobre a taxa de descarga de produtos armazenados.

Tabela 3. Valores médios da vazão média de descarga\* (kg s<sup>-1</sup>) para os parâmetros analisados\*\*

Média	Média	Média
TG <sub>1</sub> = 0,7422 a	H/L <sub>1</sub> = 0,6767 a	ST <sub>1</sub> = 0,0589 b
TG <sub>2</sub> = 0,7350 a	H/L <sub>2</sub> = 0,6350 b	ST <sub>2</sub> = 1,2459 a
TG <sub>3</sub> = 0,4800 b	H/L <sub>3</sub> = 0,6456 b	

DMS/TG = 0,0166 DMS/H/L = 0,0166 DMS/ST = 0,0112

\* As médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas, não diferem, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

\*\* TG – Teor de Gordura da Ração, H/L – Relação altura/lado, ST – Área do Orifício de descarga

Com relação à vazão de descarga em função da área do orifício de descarga, os dois tratamentos mostraram-se muito diferentes. Este fato se deve à não ocorrência de fluxo das rações para a menor abertura do orifício de descarga (ST<sub>1</sub>) e ao fato do farelo de trigo apresentar baixo valor da taxa de fluxo.

Observando-se os resultados das médias das vazões de descarga para a interação teor de gordura x relação altura/lado verifica-se, na Tabela 4, que a interação teor de gordura do farelo de trigo e todas as relações altura/lado (TG<sub>3</sub> x H/L) mostraram-se diferentes de todos os tratamentos, cujos resultados ocorreram em decorrência do baixo teor de gordura do farelo de trigo aliado à baixa densidade. Para o mesmo volume do modelo, o peso das rações foi superior a duas vezes o peso do farelo de trigo e, em contrapartida, o tempo de descarga desse produto foi maior; conseqüentemente, as rações apresentaram valores superiores da vazão média de descarga que o farelo de trigo.

Tabela 4. Valores médios\* da vazão média de descarga (kg s<sup>-1</sup>) para a interação teor de gordura x relação altura/lado

TG/ produto	H/L			Média
	H/L <sub>1</sub>	H/L <sub>2</sub>	H/L <sub>3</sub>	
TG <sub>1</sub> /Ração 1	0,78 aA	0,70 aB	0,75 aA	0,74
TG <sub>2</sub> /Ração 2	0,77 aA	0,72 aB	0,71 bB	0,74
TG <sub>3</sub> /Farelo de trigo	0,48 bA	0,49 bA	0,48 cA	0,48
Média	0,68	0,64	0,65	0,65

\* As médias seguidas pelas mesmas maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Verifica-se, ainda, que para as interações teor de gordura da ração 1, da ração 2 e do farelo de trigo x relação altura/lado igual a 5,3 (TG x H/L<sub>3</sub>) houve diferenças entre todos os tratamentos, porém a diferença entre as interações das duas rações foi pequena.

Examinando-se os resultados da Tabela 5, constata-se que, mesmo sem as rações fluírem para o orifício de descarga com área de 16 cm<sup>2</sup>, não houve diferenças entre os tratamentos porque, apesar do farelo de trigo fluir, o valor da vazão média de descarga foi bastante baixo.

No caso da seção transversal maior, só existiu diferença entre a interação teor de gordura do farelo de trigo x área do orifício de descarga 64 cm<sup>2</sup> (TG<sub>3</sub> x ST<sub>2</sub>).

Tabela 5. Valores médios da vazão média de descarga\* (kg s<sup>-1</sup>) para a interação teor de gordura x área do orifício de descarga

TG/produto	ST		Média
	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	
TG <sub>1</sub> /Ração 1	0,00 aB	1,48 aA	0,74
TG <sub>2</sub> /Ração 2	0,00 aB	1,47 aA	0,74
TG <sub>3</sub> /Farelo de trigo	0,18 aB	0,78 bA	0,48
Média	0,06	1,25	0,65

\* As médias seguidas pelas mesmas letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Verifica-se, ainda, que as interações teor de gordura versus área do orifício de descarga 1 e 2 (TG x ST<sub>1</sub>, ST<sub>2</sub>) diferiram entre si.

Esses resultados concordam com Wang et al. (1995) ao concluírem que, com o aumento da área do orifício de descarga do silo, a vazão da farinha de soja aumenta significativamente. Chang et al. (1984) e Chang & Converse (1988), apud por Wang et al. (1995) mediram as taxas da vazão do milho, trigo e sorgo, através de orifícios circulares e quadrados, em modelo de silo em função do teor de umidade e verificaram que a vazão do sorgo aumenta com o aumento do teor de umidade para a faixa testada de 11 a 18% b.u.; para o trigo, a vazão não foi significativamente afetada pelo teor de umidade contida na faixa de 12 a 15% b.u.; o efeito do teor de umidade contida no milho, na faixa de 13 a 23% b.u., foi pequena para orifícios menores que 20 cm e a taxa de fluxo, para orifícios maiores que este tamanho, aumenta com o decréscimo da umidade.

A Tabela 6 mostra os valores médios da vazão média de descarga para a interação relação altura/lado x área do orifício de descarga (H/L x ST).

Tabela 6. Valores médios da vazão média de descarga\* (kg s<sup>-1</sup>) para a interação relação altura /lado x área do orifício de descarga

H/L	ST		Média
	ST <sub>1</sub>	ST <sub>2</sub>	
H/L <sub>1</sub>	0,06 aB	1,29 aA	0,68
H/L <sub>2</sub>	0,06 aB	1,21 bA	0,64
H/L <sub>3</sub>	0,06 aB	1,23 bA	0,65
Média	0,06	1,25	0,65

\* As médias seguidas pelas mesmas letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem, a nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Observa-se que não existem diferenças entre as interações relação altura/lado x área do orifício de descarga menor (H/L x ST<sub>1</sub>) porém a interação relação altura/lado 1,76 x área do orifício de descarga maior diferiu dos outros tratamentos, com um pequeno valor (H/L<sub>1</sub> x ST<sub>2</sub>).

### Análise do Fluxo

Os resultados dos ensaios realizados em modelo reduzido de silo prismático com parede de acrílico transparente para determinação do tipo de fluxo, estão representados na Tabela 7.

O farelo de trigo teve comportamento igual para as duas seções transversais do orifício de descarga e todas as relações altura/lado utilizadas.

Os baixos valores do teor de gordura e a baixa densidade do farelo de trigo contribuíram para a obtenção do fluxo de massa. De acordo com Johanson (1969) produtos com essas características são considerados de fluxo livre.

Tabela 7. Tipo de fluxo em função da relação H/L

Produto	Área do orifício de descarga					
	ST <sub>1</sub>			ST <sub>2</sub>		
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
Relação H/L = 1,76						
Ração 1	NF	NF	NF	M	M	M
Ração 2	NF	NF	NF	M	M	M
Farelo de trigo	M	M	M	M	M	M
Relação H/L = 3,5						
Ração 1	NF	NF	NF	E	M	F
Ração 2	NF	NF	NF	M	M	M
Farelo de trigo	M	M	M	M	M	M
Relação H/L = 5,3						
Ração 1	NF	NF	NF	E	M	ET <sup>#</sup>
Ração 2	NF	NF	NF	M	M	M
Farelo de trigo	M	M	M	M	M	M

NF – não fluxo M – fluxo de massa E – fluxo expandido F – fluxo de funil ET – efeito tubo

O comportamento do fluxo da ração 1 foi muito diversificado e irregular. Tratando-se da área maior do orifício de descarga do silo, o produto conseguiu fluir; entretanto, apresentou fluxo de massa para a relação altura/lado igual a 1,76, fluxo de funil indeterminado e formação do tubo para as duas outras relações altura/lado estudadas. Como a ração 1 possui o percentual mais elevado do teor de gordura (7,11%) considera-se que este parâmetro influenciou no tipo de fluxo, pois se observou, durante os ensaios, um entrelaçamento das partículas, causado pela coesão do produto.

Apesar da ração 2 não fluir com a área do orifício de descarga 16 cm<sup>2</sup>, observou-se fluxo de massa para a área de 64 cm<sup>2</sup>, nas três relações altura/lado.

### Ração 1

a. Área do orifício de descarga - 16 cm<sup>2</sup>: Foi observado, nos ensaios, para as três relações altura/lado, que não ocorreu escoamento da ração devido à formação de arcos coesivos. Originalmente, o arco se desenvolve como resultado da consolidação e resistência do produto armazenado e, neste caso, a sua formação pode ter ocorrido devido ao alto teor de gordura que a ração 1 possuía, tornando-a mais coesiva e, conseqüentemente, adquirindo alta resistência.

O efeito do teor de umidade no aumento da coesão em produtos já foi estudado por vários pesquisadores. Bokhoven & Lohnes (1989) confirmam esse efeito em estudo com a soja.

Apesar do teor de umidade ser um dos parâmetros que exercem influência na resistência e na consolidação dos produtos armazenáveis, os valores dos teores de umidade dos produtos estudados não foram muito diferenciados. Nesse estudo foi levado em consideração o alto teor de gordura que as indústrias de ração colocam nesses produtos, com a intenção de elevar o seu valor energético.

Não ocorreu fluxo com esta área da seção transversal, devido ao teor de gordura, que proporcionou ganho de resistência coesiva e a formação de arco estável imediatamente acima do orifício de descarga, suficiente para suportar toda a coluna de produto, conforme é apresentado na Figura 1.

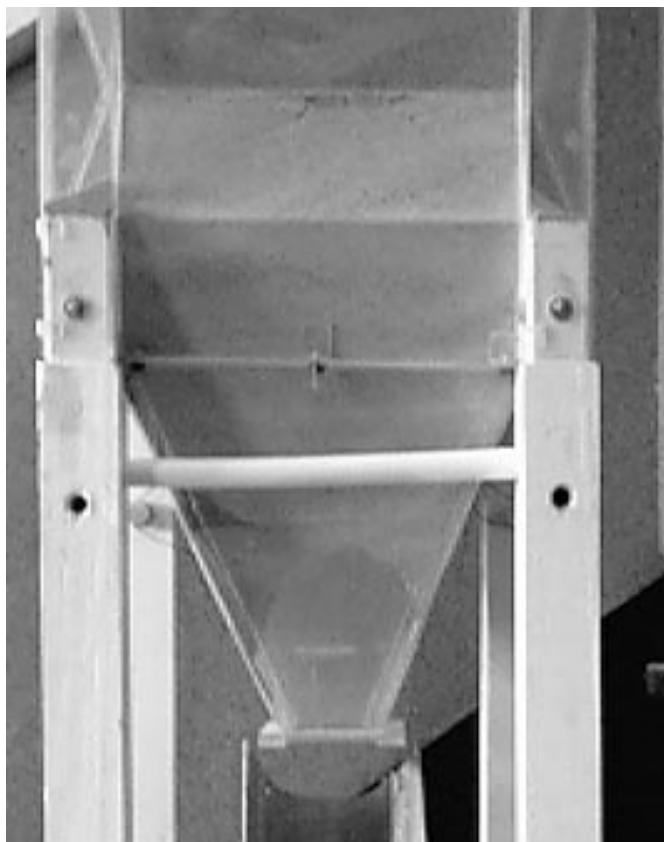


Figura 1. Arco estável, imediatamente acima do orifício de descarga para a ração 1

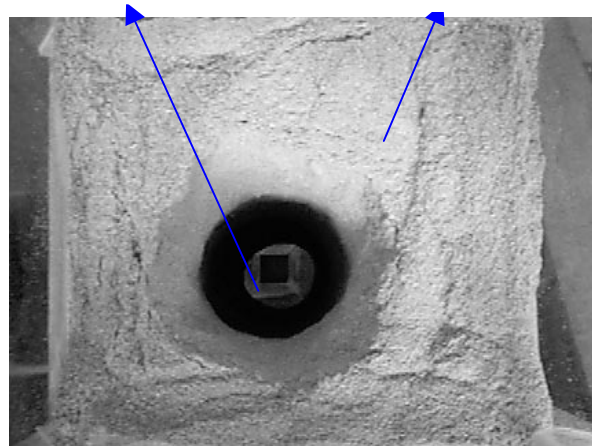
b. Área do orifício de descarga - 64 cm<sup>2</sup>: A Tabela 7 mostrou o tipo de fluxo da ração 1 para a área maior do orifício de descarga e todas as relações altura/lado e se observa o comportamento diferenciado do produto em função da relação altura/lado.

Para a relação altura/lado igual a 1,76, a ração apresentou fluxo de massa; para a relação altura/lado 3,5, a ração 1 apresentou o fluxo de funil. Uma característica desse tipo de fluxo é a formação de uma zona em repouso onde o produto armazenado não flui; e, com a relação altura/lado maior, ao se abrir a orifício de descarga inicia-se a descarga, apresentando fluxo de funil e, posteriormente, forma-se o efeito-tubo, que é um conduto central formado desde a boca de saída até alcançar a superfície superior do produto, cujo diâmetro tem aproximadamente a dimensão da boca de saída. Para a formação do tubo, o produto armazenado dentro do contorno do silo adquiriu resistência suficiente para suportá-lo, como é indicado na Figura 2.

Segundo Bokhoven & Lohnes (1989) a resistência ao escoamento de um produto pode variar com as mudanças no grau de consolidação, teor de umidade, temperatura, tempo de armazenamento e degradação do produto. Acredita-se que o teor de gordura teve influência predominante na resistência ao fluxo e passou a ser mais uma variável que concorre para a consolidação dos produtos armazenáveis.

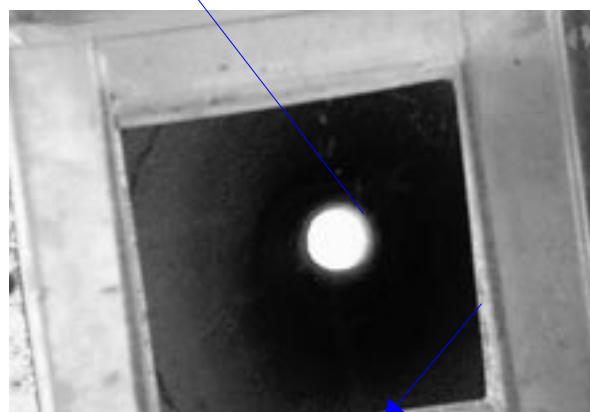
O efeito tubo deve ser evitado em projetos de silos porque, quando este ocorre, há um efeito posterior de queda de grande quantidade de produto e isto pode provocar a ruína da instalação.

Orifício de descarga Superfície superior



A. vista superior do silo

Superfície superior do produto



Orifício de descarga

B. vista inferior do silo

Figura 2. Vista do efeito tubo observado nos ensaios

### Ração 2

a. Área do orifício de descarga - 16 cm<sup>2</sup>: Observando-se a tabela citada, para a área do orifício de descarga 16 cm<sup>2</sup>, o resultado do ensaio da ração 2 foi semelhante ao que ocorreu com a ração 1, ou seja, não houve fluxo.

Apesar da ração 2 apresentar valor do teor de gordura inferior ao da ração 1, conclui-se que ainda é elevado para o fluxo ocorrer neste dimensionamento da boca de descarga.

b. Área do orifício de descarga - 64 cm<sup>2</sup>: Após a abertura do orifício de descarga a ração 2 começa a fluir. O processo de descarga segue com fluxo de massa para todas as relações altura/lado estudadas. Com o aumento da seção transversal da boca de descarga, evitou-se a formação de abóbadas estáveis e o efeito-tubo, fato que não ocorreu para a ração 1.

### Farelo de Trigo

a. Área do orifício de descarga - 16 cm<sup>2</sup>: O comportamento do fluxo do farelo de trigo para a menor área do orifício de descarga e todas as relações altura/lado, foram semelhantes.

Quando o orifício de descarga é aberto, o produto começa a fluir livre e uniformemente, sem formação de abóbadas ou

condutos. Como todo o farelo de trigo se movimenta e o primeiro produto a entrar é o primeiro a sair, comporta-se em regime de fluxo de massa. Finalizada a descarga do produto, constata-se que não ficou retido produto nas paredes do modelo.

b. Área do orifício de descarga - 64 cm<sup>2</sup>: Como o farelo de trigo no processo de descarga se comportou em regime de fluxo de massa para a menor área do orifício de descarga, é evidente que, para a abertura maior, o produto conseguiu escoamento similar, ou seja, ele fluiu por gravidade sem ocorrência de obstruções do fluxo e, sendo o farelo de trigo não compressível, acredita-se que não ganha muita resistência no orifício de descarga do silo.

Em concordância com o ocorrido, Calil Júnior (1984) afirma que produtos pulverulentos de baixa densidade têm a vantagem de fluir com menor resistência à compactação na tremonha, mas tem a desvantagem da inércia em repouso e alta resistência ao ar.

## CONCLUSÕES

Nas condições do presente trabalho, conclui-se que:

1. O modelo proposto é adequado para análise de fluxo de produtos armazenados e fornece uma boa previsão do tipo de fluxo, que ocorre em instalações reais.
2. A vazão de descarga foi afetada pela área da seção transversal do orifício de descarga do silo e pelo teor de gordura do produto.
3. A relação altura/lado (H/L) não teve efeito sobre a vazão de descarga dos produtos.
4. O alto teor de gordura da ração 1 e a relação altura/lado (H/L) do silo afetaram o tipo de fluxo.
5. Em silos para armazenamento de produtos com alto teor de gordura é necessário se dimensionar o orifício de descarga, com área maior que a mínima recomendada pelas normas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Madeira e Estrutura de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos/USP, pelas determinações das propriedades físicas dos produtos, e à Guarabira Aves Ltda. (GuarAves) pelo fornecimento das rações utilizadas na pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANDEIRA, I.S.A. **Análise de fluxo de ração e farelo de trigo em silos prismáticos industriais**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 97p. Dissertação Mestrado.
- BOKHOVEN, W.H.; LOHNES, R.A. Preconsolidation effects on flow characteristics of soybean meal. **Transaction of the ASEA**, St Joseph. v.12, n.5, p. 1779-1783, 1989.
- CALIL JÚNIOR, C. **Sobrepresiones en las paredes de los silos para almacenamiento productos pulverulentos cohesivos**. Barcelona: Universidad Politecnica de Barcelona-UPB, 1984. 184p. Tese Doutorado.
- CALIL JÚNIOR, C.; NASCIMENTO, J.W.B. do; ARAÚJO, E.C. de. **Silos metálicos multicelulares**. São Carlos: EESC/USP, 1997. 177p.
- JOHANSON, J.R. **Modeling flow of bulk solids**. Massachusetts. American Institute of Chemical Engineers/Jenike and Johansen, Inc., Winchester, 1969. 12p.
- MILANI, A.P. **Determinação das propriedades de produtos armazenados para projetos de pressões e fluxo em silos**. São Carlos: EESC/USP, 1993. 272p. Tese Doutorado
- NASCIMENTO, J.W.B. **Estudo de silos metálicos prismáticos para fábricas de ração**. São Carlos: EESC/USP, 1996. 152p. Tese Doutorado
- RANDALL, E.L. Improved method for fat and oil analysis by a new process of extraction. **Journal of the Analytical of Official Agricultural Chemists**. v.57, n.5, p.1167-1168. 1974.
- RAVENET, J. **Silos. flujo de vaciado de sólidos. formacion de bovedas. efectos**. Barcelona, Espanha: Técnicos Asociados S.A., 1983. 335p.
- RAVENET, J. **Silos**. Barcelona, Espanha. 1992. 508p.
- SILVA, F.A.S. The ASSISTAT software: statistical assistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6., Cancun, 1996. **Proceedings...** Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p. 294-298.
- TORRES, A.P. **Alimentos e nutrição das aves domésticas**. São Paulo: Nobel, 1987. 324p.
- WANG, Y.J.; CHUNG, D.S.; SPPILLMAN, C.K. Gravity flow characteristics of soybean meal. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.4, p. 1179-1186. 1995.