

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

PERDA DE PRESSÃO EM GRÃOS DE ARROZ EM CASCA (*Oryza sativa*, L) e  
MILHO (*Zea mays*) EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE,  
NÍVEL DE IMPUREZA, ALTURA DA CAMADA E  
TAXA DE FLUXO DE AR  
POR

IRAN JOSE OLIVEIRA DA SILVA 38

*Parcer*

Este exemplar corresponde a redação final  
da dissertação de Mestrado defendida  
por Iran José Oliveira da Silva e  
aprovada pela Comissão Julgadora em  
18 de dezembro de 1992. Campinas, 13  
de agosto de 1993.

Orientador:

Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS BIAGI X

*Presidente da Banca*

Dissertação apresentada em cumprimento parcial aos requisitos  
para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola: Área  
de Concentração: Pré-Processamento de Produtos Agrícolas.

Campinas, SP

Dezembro de 1992

... EM CASCA  
(*Oryza sativa*, L) e MILHO (*Zea mays*) EM FUNÇÃO DO  
TEOR DE UMIDADE, NÍVEL DE IMPUREZA, ALTURA DA CAMADA  
E TAXA DE FLUXO DE AR

IRAN JOSE OLIVEIRA DA SILVA  
ENGENHEIRO AGRICOLA

Dissertação aprovada em 18/12/92.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Kil Jin Park	FEAGRI/UNICAMP
Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel	ESALQ/USP
Prof. Dr. João Domingos Biagi (Orientador)	FEAGRI/UNICAMP

  
Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

- Membro da Banca -

" A José e Dorinha, meus pais  
A Ivan, Késia, Kênia , meus irmãos,  
Ofereço."

---

" À Rodolfo Terra e Silva, meu filho.  
À Salete, minha namorada.  
Pelas suas presenças em minha vida  
Dedico."

## A G R A D E C I M E N T O S

" A DEUS, por tudo, pelo constante amparo."

A Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), por intermédio do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas (DPPPA) pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela ajuda financeira.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, pela nossa liberação para participar deste curso.

Ao Prof.Dr. João Domingos Biagi, pela orientação e acima de tudo pelo exemplo, amizade e apoio.

Ao Prof. Dr. Luiz Antonio Balastreire pelas oportunas sugestões levantadas na fase inicial deste trabalho.

Aos Profs. Dr. Kil Jin Park e Dr. Hugo Ghelfi Filho pelo incentivo e amizade.

Ao Departamento de Agricultura da ESALQ, na pessoa do Prof.Dr. Valter Rodrigues da Silva, pelo uso das dependências da Usina de beneficiamento de sementes, e pelo espírito colaboracionista encontrado.

Aos funcionários Francisco Oliveira e Dagoberto Favoretto pela valiosa ajuda durante a execução do experimento sem a qual tornaria impossível de se realizar.

A todos os funcionários da FEAGRI pela colaboração e boa convivência.

A Roberta Helena e Marinês Coral, da ESALQ, pela atenção e colaboração durante essa fase.

A Mônica Monteiro Terra, minha ex-mulher, pelo apoio e compreensão dispensada na fase inicial deste curso.

Ao colega Eng.Agrícola Ednaldo Carvalho Guimarães, pela valiosa ajuda nas análises estatísticas.

A Eliana e Kátia, bibliotecárias da ESALQ, pela colaboração e amizade.

Aos colegas de curso, pelas horas de incentivo e boa convivência.

A Soraya Vilela, e Anísio Diniz, amigos do período em Lavras, pela garra e exemplo.

Enfim, à todos que neste momento não me vêm a lembrança, mas, que com certeza, contribuíram para o êxito deste trabalho; o meu muito obrigado.

### **Agradecimento Especial**

"À Salete Aparecida Gaziolla, pelo companheirismo, carinho, dedicação e incentivo em todos os momentos..."

## SUMÁRIO

	Página
PÁGINA DE ROSTO . . . . .	i
COMISSÃO JULGADORA . . . . .	ii
DEDICATÓRIA . . . . .	iii
AGRADECIMENTOS . . . . .	iv
SUMÁRIO . . . . .	vi
LISTA DE TABELAS . . . . .	viii
LISTA DE FIGURAS . . . . .	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS . . . . .	xvii
RESUMO . . . . .	xviii
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 3 - REVISÃO DE LITERATURA . . . . .</b>	<b>5</b>
3.1. Efeito do teor de umidade dos grãos . . . . .	8
3.2. Efeito da altura da camada de grãos . . . . .	12
3.3. Efeito do nível de impureza nos grãos . . . . .	20
<b>CAPÍTULO 4 - MATERIAL E MÉTODOS . . . . .</b>	<b>25</b>
4.1. Equipamento experimental . . . . .	25
4.2. Matéria prima . . . . .	27
4.3. Parâmetros analisados . . . . .	27
4.4. Delineamento experimental . . . . .	31
4.5. Modelos estatísticos . . . . .	31

	Página
<b>CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>32</b>
5.1. Propriedades físicas dos produtos utilizados	32
5.2. Análise de variância . . . . .	35
5.2.1. Análise para os produtos limpos . . .	35
5.2.1.1. Arroz . . . . .	35
5.2.1.2. Milho . . . . .	41
5.2.1. Análise para os produtos com vários níveis de impurezas . . . . .	47
5.2.2.1. Arroz . . . . .	47
5.2.2.2. Milho . . . . .	58
5.3. Modelos estatísticos . . . . .	66
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>70</b>
<b>ABSTRACT . . . . .</b>	<b>74</b>

## LISTAS DE TABELAS

Tabela	Página
3.1. - Vazões específicas para aeração a aplicar em função do nível de umidade dos grãos.....	10
3.2. - Coeficiente de compactação dos grãos (Trigo e Cevada) em função da altura da estocagem para células aeradas.....	13
<hr/>	
5.1. - Propriedades físicas dos grãos de arroz em casca e milho.....	32
5.2. - Composição granulométrica dos grãos e impurezas do arroz em casca e milho.....	33
5.3. - Módulo de Finura e Tamanho médio dos grãos e impurezas do arroz em casca e milho.....	34
5.4. - Perda de umidade dos grãos de arroz em casca e milho durante o período dos testes, para o teor de umidade de 25% .....	35
5.5. - Análise de variância para o arroz em casca com 0% de impureza.....	36



5.6. - Teste de Tukey para médias de altura da camada dentro de 0,5038 m <sup>3</sup> /min.m <sup>2</sup> do fator fluxo de ar.....	36
5.7. - Teste de Tukey para médias de altura da camada dentro de 25% do fator umidade e 0,5038 m <sup>3</sup> /min.m <sup>2</sup> do fator fluxo de ar.....	37
5.8. - Teste de Tukey para médias de altura da camada dentro de 18% do fator umidade e 5,534m <sup>3</sup> /min.m <sup>2</sup> do fator fluxo de ar.....	37
5.9. - Teste de Tukey para médias de umidade dentro de 1,5m do fator altura da camada e 10,241m <sup>3</sup> /min.m <sup>2</sup> do fator fluxo de ar.....	38
5.10.- Teste de Tukey para médias de fluxo de ar dentro de 0,5m do fator altura da camada e 18% do fator umidade.....	38
5.11.- Análise de variância para o milho com 0% de impureza.....	42
5.12.- Teste de Tukey para as médias de altura dentro de 0,5038m <sup>3</sup> /min.m <sup>2</sup> do fator fluxo de ar.....	43

5.13.- Teste de Tukey para as médias de altura da camada dentro de  $3,082\text{m}^3/\text{min.m}^2$  do fator fluxo de ar..... 43

5.14.- Teste de Tukey para médias do fator umidade dentro de 1,0m do fator altura da camada..... 43

5.15.- Análise de variância para o arroz em casca com vários níveis de impureza..... 48

~~5.16.- Teste de Tukey para as médias de impureza..... 48~~

5.17.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 2,0m do fator altura da camada..... 49

5.18.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 18% do fator umidade..... 49

5.19.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro  $3,082\text{ m}^3/\text{min.m}^2$  do fator fluxo de ar..... 50

5.20.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 0,5m do fator altura da camada e 11% do fator umidade..... 50

5.21.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 1,0m do fator altura da camada e 18% do fator umidade.....	51
5.22.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 1,5m do fator altura da camada e 25% do fator umidade.....	51
5.23.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 1,5m do fator altura da camada e 25% do fator umidade e $5,534\text{m}^3/\text{min.m}^2$ do fator fluxo de ar.....	52
5.24.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 1,5m do fator altura da camada e 11% do fator umidade e $10,241\text{m}^3/\text{min.m}^2$ do fator fluxo de ar.....	52
5.25.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 0,5m do fator altura da camada e 18% do fator umidade e $3,082\text{m}^3/\text{min.m}^2$ do fator fluxo de ar.....	53

5.26.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 1,0m do fator altura da camada e 11% do fator umidade e $3,082\text{m}^3/\text{min.m}^2$ do fator fluxo de ar.....	53
5.27.- Análise de variância para o milho com vários níveis de impureza.....	58
5.28.- Teste de Tukey para médias de impureza.....	59
5.29.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro 2,0 m do fator altura da camada.....	60
5.30.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 18% do fator umidade.....	60
5.31.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de $5,541\text{m}^3/\text{min.m}^2$ do fator fluxo de ar.....	60
5.32.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 2,0m do fator altura da camada e $5,541\text{m}^3/\text{min.m}^2$ do fator fluxo de ar.....	61
5.33.- Teste de Tukey para médias de impureza dentro de 1,0m do fator altura da camada e $0,5038^3/\text{min.m}^2$ do fator fluxo de ar.....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Pagina
4.1.	- Esquema do equipamento experimental.....	26
5.1.	- Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de altura da camada, em arroz em casca com 0% de impureza e 18% de umidade.....	39
5.2.	- Perda de Carga em função da altura da camada para níveis de fluxo de ar, em arroz em casca com 0% de impureza e 25% de umidade.....	39
5.3.	- Perda de Carga em função do fluxo de ar, para níveis de umidade em arroz em casca com 0% de impureza e 0,5 m de altura da camada.....	40
5.4.	- Perda de Carga em função do fluxo de ar, para os níveis de altura da camada em milho, com 0% de impureza e 18% de umidade.....	45
5.5.	- Perda de Carga em função da altura da camada para níveis de fluxos de ar em milho com 0% de impureza e 18% de umidade.....	45

5.6.	- Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de umidade, em milho com 0% de impureza em 1,0m de altura da camada.....	46
5.7.	- Perda de Carga em função do teor de umidade para níveis de fluxos de ar, em milho com 0% de impureza em 1,0m de altura da camada.....	47
5.8.	- Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de impureza em grãos de arroz em casca com 25% de umidade em 2,0m de altura da camada.....	54
5.9.	- Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de impureza em grãos de arroz em casca com 25% de umidade em 1,5m de altura da camada.....	55
5.10.	- Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de impureza em grãos de arroz em casca com 25% de umidade em 0,5m de altura da camada.....	56

5.11. - Perda de Carga em função dos níveis de impureza para níveis de fluxos de ar em grãos de arroz em casca com 11% de umidade em 2,0m de altura da camada .....	56
5.12. - Perda de Carga em função dos níveis de impureza para níveis de fluxos de ar em grãos de arroz em casca com 18% de umidade em 1,0m de altura da camada .....	57
<hr/>	
5.13. - Perda de Carga em função dos níveis de impureza para níveis de fluxos de ar em grãos de arroz em casca com 25% de umidade em 0,5m de altura da camada .....	57
5.14. - Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de impureza em grãos de milho com 11% de umidade em 1,5m de altura da camada.....	62
5.15. - Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de impureza em milho com 18% de umidade em 1,5m de altura da camada.....	63

- 5.16. - Perda de Carga em função dos fluxos de ar para níveis de impureza em milho com 25% de umidade em 2,0m de altura da camada..... 63
- 5.17. - Perda de Carga em função dos níveis de impureza para níveis de fluxos de ar em milho com 11% de umidade em 2,0m de altura da camada.. 64
- 5.18. - Perda de Carga em função dos níveis de impureza para níveis de fluxos de ar em milho com 18% de umidade em 2,0m de altura da camada... 65
- 5.19. - Perda de Carga em função dos níveis de impureza para níveis de fluxos de ar em milho com 25% de umidade em 1,5m de altura da camada... 65



## LISTA DE SÍMBOLOS

$Q$  = Fluxo de ar por unidade de área;

$L$  = Altura da camada (m);

$\frac{DP}{DN}$  = perda de pressão por incremento de distância na direção  $c$

$P$  = Perda de carga;

$\Delta P$  = Perda total de carga, devido ao grão;

$V$  = Velocidade do ar (m/s);

$m_c$  = Teor de umidade, %bu;

$BD$  = Peso específico;

$m_F$  = Nível de Impurezas;

$A, B, C, D, E, F$  = Constantes.

PERDA DE PRESSÃO EM GRÃOS DE ARROZ EM CASCA (*Oryza sativa*, L)  
E MILHO (*Zea mays*) EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE, NÍVEL DE  
IMPUREZAS, ALTURA DA CAMADA E TAXA DE FLUXOS DE AR

RESUMO

Com o objetivo de estudar os fatores que influenciam na perda de carga de pressão em grãos de arroz em casca (*Oryza sativa*, L.) e milho (*Zea mays*) à passagem do fluxo de ar, avaliou-se neste trabalho os efeitos dos níveis de impurezas (0%, 5%, 10%, 15%), altura da camada (0,5m; 1,0m; 1,5m; 2,0m), teores de umidade (11%, 18%, 25%) e taxas de fluxos de ar ( $0,5038\text{m}^3/\text{min.m}^2$ ;  $3,082\text{m}^3/\text{min.m}^2$ ;  $5,534\text{m}^3/\text{min.m}^2$ ;  $10,241\text{m}^3/\text{min.m}^2$ ).

Os resultados obtidos permitiram concluir que para o arroz em casca e para o milho houve aumento da perda de pressão, aumentando-se a taxa de fluxo de ar, altura da camada, níveis de impurezas. Porém, a medida que os produtos tinham seus teores de umidade aumentados, uma redução na perda de pressão foi comprovada.

Verificou-se também, que analisando conjuntamente os produtos, as perdas de pressão para o arroz em casca foram maiores que para o milho.

Por meio de uma análise de regressão multivariada foi determinado modelos para a descrição do comportamento dos grãos de arroz em casca e milho. Sendo:

Para o arroz em casca:

$$P = -4,366 + 2,632(Q) + 5,918(L) - 0,247(MC) + 0,139(FM), \text{ com} \\ (R^2) = 0,914$$

Para o milho:

$$P = -5,045 + 2,120(Q) + 5,349(L) - 0,230(MC) + 0,224(FM), \text{ com} \\ (R^2) = 0,863$$

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Apesar de grande, a expansão agrícola nos países em desenvolvimento a partir da metade deste século, não consegue atender a demanda de alimentos causados pelo rápido crescimento demográfico. A redução insuficiente de alimentos tem provocado um aumento considerável das importações de cereais pelo Brasil.

O Brasil, com grandes áreas territoriais e com as fronteiras agrícolas em plena expansão, tem condições mais do que suficientes para contribuir para uma redução da fome mundial, desde que levem em consideração outros segmentos que condicionam e influenciam a produção agrícola. Dentre os segmentos, o armazenamento e secagem de produtos agrícolas é de vital importância, haja visto que um aumento de produção, seja por expansão das fronteiras agrícolas, seja por recordes de produtividade, depara com a capacidade de estocagem. Tal fato comprometeria seriamente os investimentos aplicados neste setor, pois a produção agrícola é descontínua e cíclica, enquanto as necessidades de alimentação são permanentes e contínuas. Diante da necessidade de se conciliarem esses aspectos contraditórios, faz-se necessária a conservação de excedentes da produção para atenderem as exigências de alimentação durante a entressafra e período de escassez. (Companhia Estadual de Silos e Armazéns - CESA, 1982).

Um bom sistema de armazenagem e secagem influi no processo de comercialização, pois tem certo controle sobre a movimentação da produção bem como sobre os preços dos produtos na entressafra. Deve possuir características técnicas tais que, ao longo do período de armazenagem, as propriedades físicas, químicas e biológicas do produto armazenado permaneçam sem alterações significativas com relação às obtidas durante a colheita.

Geralmente, em condições de clima tropical, o grão é colhido com um teor de umidade acima do ideal para o armazenamento. Antes de serem armazenados, os grãos devem ser secados por um processo de ventilação natural ou forçado. A secagem artificial por meio de secadores com ventilação forçada é cada vez mais utilizada em razão de sua rapidez em atender ao fluxo da produção agrícola que chega a unidade armazenadora.

Durante o período de armazenamento é usado o processo de aeração que visa a manter a uniformidade da temperatura do produto, evitando com isso, o surgimento de eventuais focos de aquecimento.

No dimensionamento e construção de silos e secadores, a escolha do ventilador é um fator importante. Existem parâmetros que ajudam a fazer essa escolha; eles devem ser estudados e definidos para um dimensionamento adequado com vistas a evitar problemas de ordem técnica e econômica, uma vez que ventiladores são equipamentos de alto custo.

Os ventiladores são escolhidos para fornecerem uma certa vazão de ar sob determinada pressão, sendo que o seu desempenho depende principalmente desses dois parâmetros. A

vazão esta relacionada com a pressão. O aumento de uma implica na redução da outra. (LASSERAN, 1981).

O cálculo da potência do ventilador é função da vazão do ar, pressão estática total e eficiência do ventilador. Convencionalmente, essa pressão é determinada por meio de equações ou gráficos que relacionam a perda de pressão por unidade de espessura da camada do produto com o fluxo de ar, ou seja, com a vazão do ar por unidade de área.

Dentre as prioridades a serem empregadas, destaca-se um estudo minucioso dos fatores que influenciam na perda de pressão do ar durante os processos de secagem e aeração dos grãos.

## CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS

Baseado na existência dos problemas mencionados anteriormente, este trabalho tem como objetivo geral: Estudar os principais fatores que afetam a perda de carga em grãos de milho (*Zea mays*) e arroz em casca (*Oryza sativa* L.) à passagem do fluxo de ar, através da massa granular.

E como objetivos específicos:

- Avaliar a influência do teor de umidade na perda de carga para os grãos de milho e arroz em casca.
- Avaliar a influência da altura da camada na perda de carga para os grãos de milho e arroz em casca.
- Avaliar a influência do nível de impureza, na perda de carga para os grãos de milho e arroz em casca.
- Avaliar a influência do fluxo de ar, na perda de carga de grãos de milho e arroz em casca.

### **CAPÍTULO 3 - REVISÃO DE LITERATURA**

O ar ambiente tem grande importância na manutenção dos produtos agrícolas. Nos sistemas de armazenagem de grãos, o processo de aeração tem por objetivo reduzir a temperatura da massa de grãos. Enquanto no processo de secagem a função específica do ar é a redução de umidade do produto.

O ar ao escoar através de uma massa de grãos encontra uma resistência a este escoamento, fenômeno que é conhecido como perda de carga, perda de pressão, ou pressão estática. (LASSERAN,1981).

As resistências opostas ao deslocamento do ar, podem ser classificadas em dois grupos, isto é, as devidas ao próprio grão (natureza, peso específico, espessura do grão, modo de repartição, velocidade do ar) e as devidas ao dispositivo de distribuição de ar no grão (condutos, reduções, expansões).

Na seleção dos equipamentos de aeração e secagem é importante que os princípios básicos de movimentação do ar sejam considerados, a fim de que toda a massa granular seja uniformemente atravessada pelo mesmo. Para tanto, os ventiladores são selecionados para fornecerem a vazão necessária de ar requerida para promover a secagem ou aeração em determinada condição de armazenamento. (HALL et al.,1974). Por essa razão



o dimensionamento inadequado do sistema de movimentação do ar pode tornar-se dispendioso, causando a deterioração do produto, gasto excessivo de materiais e de energia.

No dimensionamento de sistemas de aeração e secagem, há necessidade de especificar a pressão estática do ar como função da vazão volumétrica e da coluna de grãos (SILVA, 1988).

SHEDD (1951), relacionou o escoamento de ar com queda de pressão e plotou em escala logarítma, o comportamento de vários produtos assumindo-os insentos de impurezas.

Em 1953, SHEDD estudando a resitência fornecida pelos grãos a passagem do fluxo de ar, prôpos a seguinte relação:

$$Q = A \left( \frac{DP}{DN} \right)^B \quad \text{eq. (3.1.)}$$

onde:

$Q$  = fluxo de ar por unidade de área de piso, ( $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ ).

$DP/DN$  = perda de pressão por incremento de distância na direção de fluxo de ar, ( $\text{Pa}/\text{m}$ ).

$A, B$  = constantes que depende do produto.

Com estes dados concluiu que a velocidade do ar é proporcional a uma variação da perda de carga a resistência oferecida pelos grãos.

Porém HUKILL & IVES (1955a), utilizando os dados experimentais obtidos por SHEDD (1953), concluíram que uma nova equação poderia ser usada para a determinação da pressão estática através de uma coluna de grãos, e propuseram:

o dimensionamento inadequado do sistema de movimentação do ar pode tornar-se dispendioso, causando a deterioração do produto, gasto excessivo de materiais e de energia.

No dimensionamento de sistemas de aeração e secagem, há necessidade de especificar a pressão estática do ar como função da vazão volumétrica e da coluna de grãos (SILVA, 1988).

SHEDD (1951), relacionou o escoamento de ar com queda de pressão e plotou em escala logarítma, o comportamento de vários produtos assumindo-os insentos de impurezas.

Em 1953, SHEDD estudando a resitência fornecida pelos grãos a passagem do fluxo de ar, prôpos a seguinte relação:

$$Q = A \left( \frac{DP}{DN} \right)^B \quad \text{eq.(3.1.)}$$

onde:

Q = fluxo de ar por unidade de área de piso, (m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>).

DP/DN = perda de pressão por incremento de distância na direção de fluxo de ar, (Pa/m).

A,B = constantes que depende do produto.

Com estes dados concluiu que a velocidade do ar é proporcional a uma variação da perda de carga a resistência oferecida pelos grãos.

Porém HUKILL & IVES (1955a), utilizando os dados experimentais obtidos por SHEDD (1953), concluíram que uma nova equação poderia ser usada para a determinação da pressão estática através de uma coluna de grãos, e propuseram:

onde:

$$\frac{DP}{DN} = \frac{A (Q)^2}{Ln (L + BQ)} \quad \text{eq. (3.2.)}$$

L = altura da camada, m.

Segundo, CALDERWOOD, (1973); HALL et al. (1974); LASSERAN, (1981); COOPER, et al.(1985); GUNASEKARAN et al. (1988); YANG et al. (1990); SOKHANSANJ et al.(1990); a resistência ao escoamento do ar que atravessa um produto depende da superfície e características de contorno do produto; do número, tamanho e configuração dos espaços intergranulares; da variação do tamanho do material proveniente da parte vegetativa da cultura misturada à massa de grãos; do escoamento do ar; da profundidade da camada de grãos; do teor de umidade; da variedade; do tipo de enchimento do silo e consequente compactação, e do tamanho do grão.

A perda de pressão estática em uma camada de grãos é função de variáveis como velocidade e viscosidade do ar, massa específica global, porosidade, teor de impurezas, teor de umidade e espessura da camada de grãos, (HAQUE et al. 1982).

WHILHEM et al. (1983), notaram que a resistência ao escoamento de ar foi variável entre diversas amostras de vagem de ervilhas e concluíram que tais diferenças deviam-se as propriedades físicas, tais como porosidade, massa específica granular, tamanho e forma das vagens, turgidez, maturação e teor de impurezas. Somente a massa específica granular não influenciou significativamente na resistência ao escoamento.

PATIL et al. (1988), afirmam que a resistência ao fluxo de ar é dependente do tamanho, forma, umidade e

fluxo de ar é dependente do tamanho, forma, umidade e embalagens. A embalagem dos grãos está relacionada com o peso específico e porosidade.

### 3.1. Efeito do teor de umidade dos grãos

**SHEDD (1951 e 1953)**, estudou entre outros fatores a influência do teor de umidade em vários produtos agrícolas. Variando os métodos de enchimento (bica e jorro) concluiu que fixando uma das formas de enchimento, ocorreu uma redução na pressão estática com o aumento do teor de umidade. Quando a umidade de um lote aumenta de 12,8% para 20% de umidade a resistência oferecida pelo lote caía de 22,606cm para 14,224cm, ou seja 63% da resistência do lote de 12,8%.

**NELLIST & REES (1969)** trabalhando com sementes de hortaliças, feijão e milho chegaram a conclusão de que a resistência oferecida a massa granular ao escoamento do ar é menor para sementes reumidecidas do que para sementes secas, e que sementes menores proporcionam maiores resistências.

Porém, **STEELE (1974)** pesquisando a resistência ao fluxo de ar em amendoim em casca, para os teores de umidade de 62,5%; 42,1%; 19,4%; 8,7%, para uma altura de coluna de 121,920cm, concluiu que a pressão estática aumentou linearmente com o aumento do teor de umidade. A pressão requerida para o amendoim em casca com 50% bs foi 35% maior que a do mesmo produto a 8,7% bs de umidade.

**AKTRITIDIS (1979)** trabalhou com sementes de abóbora com níveis de umidade de 30,47%; 23,03%; 14,44%;

10,25%; 6,9% e fluxos de ar variando de 1,59 a 31,88 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>. Concluiu que fixando os fluxos de ar em 5, 10, 15, 20 e 25m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>, que a mudança do teor de umidade do produto não foi significativo para os fluxos baixos, e que para fluxos maiores que 10m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> apresentaram uma significância. Neste experimento verificou-se que a pressão decresce até um mínimo com a redução do teor de umidade e depois torna a crescer.

LASSERAN (1981), apresenta algumas vazmes específicas para aeração em função do tipo e nível de umidade dos grãos para trigo, cevada, milho e colza.

HAQUE et al. (1982) estudando os efeitos do teor de umidade na resistência ao fluxo de ar, de milho, sorgo e trigo, trabalhando com 4 níveis de umidade entre 12,4% a 25,3% e usando 7 valores de velocidade do fluxo de ar na faixa de 0,01 à 0,22m/s concluíram que a pressão estática nos grãos decresce com o aumento da umidade dos mesmos.

Um modelo estatístico baseado na regressão monolínear foi descrita por HAQUE et al. (1982) relacionando o teor de umidade com a resistência do fluxo de ar.

Pesquisando, os mesmos efeitos em arroz em casca, com grãos longos, SIEBENMORGEN & JINDAL (1987) usaram limites para a velocidade do ar entre 0,013 e 0,387m/s; peso específico variando de 480 a 604 Kg/m<sup>3</sup>; teor de impurezas entre 0 e 30% e finalmente o teor de umidade nos limites de 12% a 24% .

TABELA 3.1. Vazões específicas para aeração a aplicar em função do nível de umidade dos grãos.

Grãos	Umidade (%)	Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h.m <sup>3</sup> )
Trigo e Cevada	14 - 16	5
	16 - 18	10
	18 - 20	20
	20 - 22	30 a 40
Milho	14 - 16	10
	16 - 18	15
	18 - 20	25
	20 - 24	40
	24 - 26	55
	33 - 36	70 a 100
Colza	8 - 10	20
	10 - 12	40

Fonte: LASSERAN, (1981).

$$P = A(V) + B(V)^2 - C(MC)V \quad \text{eq. (3.3.)}$$

onde:

P = Perda de carga por metro de profundidade de grãos, Pa.

V = velocidade do ar, m/s.

MC = teor de umidade, % bu.

A,B,C = constantes do produto.

Concluíram que usando o produto com 18% de umidade, um peso específico de 577 Kg/m<sup>3</sup> e isento de impurezas que nessas condições básicas, aumentando-se a concentração de impurezas em 1%, aumenta a resistência dos grãos em 0,87%, e que aumentando o teor de umidade em 1% a resistência ao fluxo de ar decresce em 3,73%.

JAYAS et al. (1987), estudaram duas variedades de sementes de brachiaria (*Brassica campestris* e *Brassica napus*) com o objetivo de verificar o efeito do teor de umidade à

passagem do fluxo de ar, adotou os seguintes parâmetros: limites do fluxo de ar entre 0,0004 e 0,758m<sup>3</sup>/s.m<sup>3</sup>; teores de umidade de 6,5%; 10,3% e 14,5% para *B. campestris* e 7,5% para *B. napus*. Concluíram que o aumento da umidade resultou na redução da pressão estática. E que houve algumas diferenças com relação a forma de enchimento adotado.

A mesma conclusão chegou PATIL et al. (1988) que pesquisaram esses efeitos em sementes oleaginosas, com fluxos de ar entre 0,17 e 0,32m/s, teores de umidade variando em 6 níveis (19,6%; 17,6%; 15,5%; 11,95; 8,83%; 6,46%). Em sua pesquisa PATIL et al. (1988), mostraram que o peso específico decreceu linearmente com o aumento do teor de umidade. E que a porosidade aumentou com o aumento desse teor. O decréscimo da pressão com a elevação da umidade do grão pode ser causado pelo fato de que, com um alto teor de umidade as sementes não ficam bem compactadas, oferecendo uma baixa resistência ao fluxo.

Na tentativa de representar a relação entre a pressão, teor de umidade e fluxos de ar, PATIL et al. (1988) propuseram uma equação por regressão múltipla.

$$P = - 0,354 - 0,067 MC + 13,72 V \quad \text{eq. (3.4.)}$$

com

$$6,46 < MC < 19,6\%$$

$$0,17 < V < 0,32 \text{ m/s}$$

$$0,99 < P < 3,71 \text{ kpa/m}$$

Com os mesmos objetivos dos autores anteriores, GUNASEKARAN et al. (1988) analisaram os efeitos do teor de

umidade em grãos de sorgo com teores de umidade de 13,3%; 16,5%; 18,5% e 23,5%, com fluxos de ar na faixa de 0,05 a 0,30 m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup> medido através de uma camada de grãos que variou de 0,15 a 1,2m. Novamente as conclusões foram as mesmas, a pressão decresceu com o aumento do teor de umidade.

Concordando com os resultados encontrados por GUNASEKARAN et al. (1983), SOKHANSANJ et al. (1990) em seu trabalho com lentilhas com 10,4%; 11,4%; 12,8%; 14,3%; 19,9% de umidade e limites de fluxo de ar entre 0,003 e 0,6m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>, concluíram que um aumento de 1% no teor de umidade causou uma redução de 2,4% na pressão estática para os limites de fluxo estudo.

### 3.2. Efeito da altura da camada de grãos

É necessário que o ar possua uma certa pressão para poder atravessar a massa de grãos com uma vazão desejada. Mas essa pressão para ser calculada depende de vários fatores já mencionados, dentre eles a altura da camada de grãos. Porém, outros fatores estão interligados entre si, como a natureza do grãos (dimensão, forma, porosidade do meio) e peso específico. (LASSERAN,1981).

A perda de pressão depende muito da natureza do grão. Por porosidade entende-se a relação entre o volume intergranular e o volume total. E essa, depende do peso específico do grão.

Já o peso específico varia segundo a altura da massa ensilada, pelo menos para células de grandes diâmetros.



Ele pode ser modificado após certas operações de aeração provocando uma ligeira secagem e uma compactação do grão.

Nos silos, constata-se uma grande compactação nos primeiros dias após o enchimento, depois o fenômeno evolui mais lentamente. (LASSERAN,1981).

De maneira geral, quanto mais alto o peso específico maiores são as perdas de carga. (LASSERAN, 1981).

A compactação do grão pode ser caracterizada por um coeficiente expresso em porcentagem, servindo de taxa de majoração de peso específico medido sobre as amostras, para estimar o peso específico do grão nas células. A tabela 3.2 apresenta o valor do coeficiente de compactação aplicado ao trigo e a cevada armazenados em células com aeração em função da altura de estocagem.

**TABELA 3.2.** Coeficiente de compactação do grão (Trigo, Cevada) em função da altura da estocagem para células aeradas.

ALTURA DE ESTOCAGEM (m)	COEFICIENTE DE COMPACTAÇÃO (%)
H < 5	11
5 < H < 15	14
15 < H < 25	10

Fonte: LASSERAN, (1981).

A velocidade de ar constante no grão, a perda de pressão é proporcional à altura da massa de grãos. Obtém-se a

perda total de pressão devida aos grãos, pela equação segundo LASSERAN, 1981:

$$\Delta P = P \times H \quad \text{eq. (3.5.)}$$

onde :

H = Altura da camada de grãos, m.

$\Delta P$  = Perda total de pressão devida ao grão, mmca.

P = Perda de pressão por m de altura.

O efeito da altura da camada na resistência ao fluxo de ar, tem sido estudado para vários produtos agrícolas. (STIERNIMAN et al., 1931; HENDERSON, 1943; HUSAIN & OJHA, 1969; SHELDON et al., 1969; CHUMA et al., 1983; GUNASEKARAN, 1983; JAYAS et al., 1987; ARAUJO, 1986).

Com o objetivo de analisar a resistência do arroz à passagem do fluxo de ar em diferentes profundidades da camada STIERNIMAN et al. (1931), conduziram seus experimentos com umidades variando entre 8% e 14,5%, material estranho misturado a massa de grãos menor que 1% mas contendo aproximadamente 5% de grãos quebrados. As tomadas de pressão foram feitas a cada 30,48cm de altura totalizando 365,76cm a coluna de grãos. Em suas conclusões, afirmam que quando plotaram os dados em papel logarítimo o fluxo de ar decresceu linearmente com a altura da camada para as diversas pressões estáticas. Uma equação para fluxo de ar em função da altura da camada para uma pressão de 101,6mmca foi proposta como:

$$Q = 78 L^{-0,52} \quad \text{eq. (3.6.)}$$

$$L Q^{0,52} = 78 \quad \text{eq. (3.7.)}$$

onde:

L = altura da camada de arroz, ft.

Q = fluxo de ar, ft<sup>3</sup>/min.ft<sup>2</sup>.

Estudando a resistência do fluxo de ar em soja e aveia, HENDERSON (1944), propôs uma relação entre a pressão do ar e profundidades de camada em soja na forma:

$$Q = A (P)^B \quad \text{eq. (3.8.)}$$

onde:

A, B = constantes dependentes da altura da camada de soja.

Seus experimentos ajudaram a revelar que A e B são funções importantes da altura da camada ( l ) e são dados por:

$$A = 67 L^{-0,57}$$

$$B = 0,6 L^{-0,064}$$

Substituindo A e B na equação acima, obteve:

$$Q = \frac{67 P^{0,643}}{L^{0,57}} \quad \text{eq. (3.9.)}$$

Usando o arroz como produto de teste, no estudo da influência da altura da camada na resistência ao escoamento do ar, HUSAIN & OJHA (1969) testaram uma camada de grãos de arroz com 130cm de altura. O fluxo de ar adotado foi variável entre 1 e 6 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>, com tomadas de pressão a cada 10 cm. Em seus estudos concluíram que a variação da pressão estática com o escoamento do ar pode ser expresso por:

$$P = A Q^B \quad \text{eq. (3.10.)}$$

onde:

P = Perda de carga em mmca.

Q = Fluxo de ar, m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>.

A, B = Constantes dependentes da espessura da camada, de acordo com as seguintes equações:

$$A = C L + D \quad \text{eq. (3.11.)}$$

$$B = E L + F \quad \text{eq. (3.12.)}$$

onde:

L = profundidade da camada, cm.

A, B, C, D, E, F = constantes do produto.

A equação final modificada fica:

$$P = (C L + D) Q^{EL + F} \quad \text{eq. (3.13.)}$$

SHELDON et al. (1969) trabalharam com milho e trigo, analisando a resistência a passagem de baixos fluxos de ar (0,5 a 4,0 ft<sup>3</sup>/min.ft<sup>2</sup>). A coluna de grãos tinha altura total de 4,57m e as tomadas de pressão foram tiradas à 0,15m ; 0,30m; 0,60m; 0,91m; 1,21m; 1,52m; 1,82m; 2,13m; 2,43m; 2,74m; 2,97m; 3,04m. As conclusões desses pesquisadores foram que a resistência do ar aumenta com o aumento da profundidade da camada de grãos e que variação com esse aumento. Afirmam ainda que aumentando-se a profundidade aumenta também o peso específico e conseqüentemente produz um aumento na resistência ao escoamento do ar.

Utilizando arroz, trigo, soja, milho e arroz moído para análise do efeito da altura da camada de grãos na

resistência a passagem do fluxo de ar, CHUMA et al. (1983) concluíram que: com o aumento do fluxo de ar aumenta-se também a pressão estática, e que esta mesma pressão aumenta linearmente com o aumento da profundidade da massa de grãos. Os testes foram realizados para uma coluna de grãos com 1780mm e as medidas de pressão foram coletadas em intervalos de 320mm em 4 níveis, os fluxos de ar variaram entre 0,34 e 3,1m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>, com teores de umidade também variáveis.

A equação de RAMSIN citado por CHUMA et al (1983) foi usada para explicar o efeito da profundidade da camada na resistência a passagem do fluxo de ar:

$$P = A. (Q)^B . (L)^C \quad \text{eq.(3.14.)}$$

A influência da umidade nas constantes fez com que inclui-se esse fator em uma equação modificada para representar o comportamento do efeito da profundidade da camada e do fluxo de ar na perda de carga. Para o arroz e milho a equação modificada de RAMSIN ficou:

$$P = (7,75 MC + 28,48) Q^{1,14} . L^{1,1} \dots (\text{Arroz}) \quad \text{eq.(3.15)}$$

$$P = (2,87 MC - 17,26) Q^{1,64} . L^{1,1} \dots (\text{Milho}) \quad \text{eq.(3.16)}$$

sendo:

P = Perda de carga,, mmca/0,64 .

Q = Fluxo de ar, m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>.

MC = Teor de Umidade, %bu.

L = Altura da Camada, m.

Também com o mesmo objetivo GUNASEKARAN et al. (1983) estudaram a influência da altura da camada de uma massa de arroz em casca na resistência a passagem do fluxo de ar. Em seus estudos utilizou uma altura variando de 5 a 30cm, com coletas de dados a cada 5cm; em um fluxo de ar variando entre 0,001 e 0,3m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>. Utilizando um ventilador de sucção e (criando um gradiente de temperatura no ar entre 10 e 40 C), concluíram que a resistência ao fluxo de ar aumentou proporcionalmente com a altura da camada até 30cm. E que esse aumento não é proporcional com o aumento do fluxo de ar.

Em suas observações verificaram que a resistência ao fluxo aumentou mais rapidamente com aumento da velocidade do ar, concordando assim com os resultados obtidos por SHEDD (1951); SHELDON et al. (1969); HUSAIN & OJHA (1969); AGRAWAL & CHAND (1974).

Com a variação da temperatura do ar que atravessou a massa de grãos concluíram ainda que, gradientes de temperatura podem estabelecer um diferencial de pressão através da camada de grãos e que essas informações são importantes nas aplicações de equações nos projetos de secadores solares, por convecção natural. (GUNASEKARAN et al., 1983).

A mesma conclusão foi obtida por JAYAS et al. (1987), quando analisaram para as duas variedades de brachiarias a resistência ao fluxo de ar. Em uma coluna de 1500mm com o produto a 6,5% e com 3 fluxos de ar (0,0034; 0,1815 e 0,2633m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>) a conclusão foi que a pressão aumentou linearmente com o aumento da profundidade da camada.

GUNASEKARAN et al. (1988) concluíram que a pressão aumenta mais rapidamente com a velocidade do ar do que com o aumento da profundidade da camada. Essa conclusão foi tirada de seu trabalho com grãos de sorgo, em uma coluna de 1200mm onde as pressões foram tomadas a cada 150mm, para 3 níveis de umidade. Observaram que dobrando a altura da camada de 150 para 300mm com o fluxo de ar  $0,1\text{m}^3/\text{s.m}^2$  dobra-se também a pressão estática de 30 para 60 Pa. Porém, dobrando-se o fluxo de ar de 0,1 para  $0,2\text{m}^3/\text{s.m}^2$  a pressão aumentou mais que o dobro ou seja, de 30 foi para 70 Pa.

ARAUJO (1986), investigou a perda de pressão em função da espessura da camada de grãos de soja, do fluxo de ar, e do teor de impureza. Para os intervalos de fluxo de 0,9 a  $30,2\text{m}^3/\text{min.m}^2$ , teor de impureza de 1 a 20% e altura da camada de 0,4 a 3,0m, obteve a seguinte equação:

$$P = 28,0 - 13,87L - 175,9FM - 4,568Q + 0,0948Q^2 + \\ + 72,69LFM + 2,795LQ + 15,12FMQ \text{ eq. (3.17.)}$$

onde:

$$(R) = 0,9812$$

P = Perda de Carga, mmca.

L = Altura da camada, m.

Q = Fluxo de ar,  $\text{m}^3/\text{min.m}^2$ .

FM = Nível de impureza, % .

Baseado nesse modelo, chegou a conclusão que a variável altura da camada em grãos de soja, revelou um efeito significativo em relação a variável pressão.

### 3.3. Efeito do nível de impureza nos grãos

A pressão oferecida à passagem do ar, através da camada de grãos depende de vários fatores já mencionados anteriormente. Tais como: tamanho dos grãos, existência de espaços intergranulares, tipo de grão, altura da camada, tipo e tamanho do material misturado a massa granular, método de enchimento, peso específico. (HALL et al., 1974; LASSERAN, 1981; COOPER, et al. 1985; GUNASEKARAN et al., 1988; YANG et al., 1990; JAYAS et al., 1991a).

Portanto, impurezas misturadas aos grãos tendem a aumentar a resistência ao escoamento de ar, se menores que o grão, e a reduzir a resistência ao escoamento se forem maior que o grão. (SHEDD, 1953; PATTERSON et al., 1971; SILVA, 1988).

Com o objetivo de determinar a resistência do fluxo de ar em milho com vários teores de impurezas, HAQUE et al. (1978), demonstraram que variando as impurezas de 1 a 50% em 12 níveis e o fluxo de ar de 0,076 a 0,38 m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>, que a medida que o nível de impureza aumentava até um valor de 20% a pressão aumentava linearmente.

Tentando equacionar a influência das impurezas na perda de carga, HAQUE et al. (1978) partindo de modificações da equação de HUKIL & SHEDD (1955b), chegaram ao seguinte modelo:

$$P = A Q + B Q^2 + C Q \text{ (FM)} \quad \text{eq.(3.18.)}$$

onde:

P = Perda de carga, Pa/m.

Q = Fluxo de ar, m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>.



FM = Nível de impurezas, decimal.

A,B,C = Constante do produto.

sendo: A = 463,667

B = 7363,038

C = 22525,819

Esta equação apresenta a vantagem sobre as demais por ser aplicada aos limites de fluxo de ar de 0,076 a 0,38m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup> e para um limite de impurezas de 0 a 20%. O mesmo não acontecendo com a equação de HUKIL & SHEDD (1955b) que apresenta a limitação de ser aplicada somente à valores de fluxo de ar inferiores a 0,203m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>. (HAQUE et al., 1978).

Na tentativa de quantificar o efeito das impurezas adicionadas a massa de grãos através do tamanho das mesmas, GRAMA et al. (1984) fizeram seu experimento com milho. Submeteu-o a 5 níveis de impurezas (1,3,5,7 e 10%) adicionados em peso, em 7 tamanhos diferentes. Concluíram que a resistência do fluxo de ar no milho aumentou quando os níveis de impureza foram adicionados. E que quanto menor o tamanho dessas, maior era a resistência ao fluxo. A partir daí, ainda concluíram que a presença de impurezas misturada a massa granular, aumenta a potência requerida pelo ventilador.

SIEBENMORGIN & JINDAL (1987), trabalharam também com arroz em casca, na verificação da influência das impurezas misturadas ao grão, afetando a resistência oferecida a passagem do fluxo de ar. Variando os níveis de impurezas de 0 a 30% em peso, concluíram que em geral quando os teores de impureza aumentavam o peso específico diminuía. Tal fato pode ser explicado devido ao baixo peso do material adicionado (392

$\text{Kg/m}^3$ ), comparado com o peso do arroz limpo ( $571 \text{ Kg/m}^3$ ).

Uma análise de regressão foi usada para descrever essas relações entre pressão, impurezas, fluxos de ar e umidade. O modelo obtido foi:

$$P = V (A FM + B MC + C BD + D V) \quad \text{eq.(3.19.)}$$

onde:

A,B,C,D = Coeficientes de regressão.

P = Perda de Carga, Pa/m.

V = Velocidade do ar, m/s.

FM = Nível de impurezas, %.

MC = Teor de umidade, % bu.

BD = Peso específico,  $\text{Kg/m}^3$ .

Esta equação permitiu a comparação relativa entre cada um dos efeitos variáveis.

Como uma alternativa aproximada do modelo da relação entre a pressão e as variáveis independentes **SIEBENMORGEN & JINDAL (1987)** apresentaram uma nova equação:

$$P = A V + B V^2 \quad \text{eq.(3.20.)}$$

onde:

$$A = K^1 BD + K^2 FM + K^3 MC$$

$$B = K^4 BD + K^5 FM + K^6 MC$$

A equação (3.20) apresenta a vantagem sobre a equação (3.19), que na mudança de uma única variável do teste pode ser refletida em ambas velocidades linear e quadrática determinando termos da resistência do fluxo de ar.

Seguindo o mesmo estilo de **GRAMA et al. (1984)**, **YANG et al. (1990)** trabalhando com milho, utilizaram os

tamanhos de impurezas proposto pelo primeiro autor. Variando a altura da coluna de grãos em 3 níveis (649, 1355, 1990mm) e o fluxo de ar na mistura entre 0,06 a 30,5m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>, concluíram que impurezas menores apresentam maior resistência ao fluxo de ar no processo de aspiração para limpeza dos grãos, confirmando que as partículas menores que o grão possuíam alta resistência ao fluxo.

SOKHANSANJ et al. (1990) trabalharam com lentilhas analisando vários fatores como: efeito da umidade, variedade, método de enchimento, direção do fluxo de ar e níveis de impurezas. Com relação aos níveis de impurezas, investigou a 0, 5, 10, 15, 20 e 25% em peso para limites de fluxo de ar entre 0,0028 e 0,5926m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>. Suas conclusões foram concordantes com os demais pesquisadores, pois a resistência ao fluxo de ar aumentou com o aumento das impurezas nas amostras. Para níveis mais baixos de fluxo de ar (0,0028 a 0,1537m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>) o aumento da pressão foi maior. Notaram que para os limites de fluxos de ar em lentilhas com 5, 10, 15, 20 e 25% de impurezas, a pressão aumentou 14,41, 77,137 e 149% respectivamente.

Mais recentemente JAYAS et al. (1991b) continuando suas pesquisas com brachiarias (*Brassica campestris* L. cv. Tobin), analisaram a resistência dessas sementes na presença de material estranho, ao fluxo de ar. O fluxo de ar variou de 0,0004 a 0,7580 m<sup>3</sup>/s.m<sup>2</sup>, e a impureza foi dividida em 2 grupos: maiores e menores que os grãos. Nesse estudo ainda correlacionaram o efeito da umidade, propriedades físicas, métodos de enchimento.

Impurezas menores que as sementes apresentaram

maior resistência do que a própria semente para um mesmo fluxo de ar. Dependendo do fluxo de ar a resistência apresentada pela impureza menor que a semente foi de 2,3 a 3,1 vezes menor que a resistência apresentada pela própria semente. Para fluxos menores, os efeitos das impurezas menores é maior se comparado com as impurezas maiores.

Novamente JAYAS et al. (1991a) agora trabalhando com sementes de linho, verificaram o efeito da umidade, direção do fluxo de ar e incorporação de impurezas na resistência ao fluxo através da camada. Utilizou um fluxo variando entre 0,036 a  $0,250\text{m}^3/\text{s.m}^2$ , com sementes possuindo 6,9% e 12% de umidade e com níveis de impurezas da ordem de 0, 5, 10 e 15% em peso. Os testes para análise do efeito da impureza foi realizado com sementes a 9% de umidade.

Neste trabalho também foi realizado a comparação de impurezas maiores e menores que as sementes. Quando as impurezas menores que as sementes foram adicionadas em 5% da massa de sementes de linho resultou num aumento do peso específico.

Aumentando-se de 0 para 15% a impureza menor o peso específico aumenta de 654 a  $677\text{ Kg/m}^3$ . Correspondendo pequenas mudanças na porosidade. Aumentando-se de 0 para 5% a impureza menor, resultou num aumento de 30% na perda de pressão. Aumentando-se de 5 para 10% ,a resistência ao fluxo de ar aumenta de 40 para 60%. O contrário acontece com impurezas maiores que as sementes. Quando aumenta-se em 5% ocorre uma redução acima de 10% na resistência ao fluxo de ar, através da camada.

## CAPÍTULO 4 - MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado nos laboratórios do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas (DPPPA), da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas, (UNICAMP).

### 4.1. Equipamento experimental

Para medir a resistência ao escoamento do ar através da massa granular de milho (*Zea mays.*) e de arroz em casca (*Oryza sativa L.*), foi construído um equipamento experimental constituído de um ventilador centrífugo, uma câmara de distribuição, e colunas verticais de PVC de vários tamanhos, com diâmetro de 250mm. O ar foi conduzido ao longo de um tubo de PVC com diâmetro de 0,10m, acoplado a câmara de distribuição. Sobre a câmara foi anexada uma coluna vertical, cilíndrica e removível variando as alturas de acordo com o desejado, com o diâmetro de 250mm, conforme a figura 4.1. O fundo da coluna foi de chapa perfurada, sendo que a área dos furos era de 26% da área total.

A carga do produto na coluna foi efetuada utilizando-se um funil, de modo a reduzir o efeito da compactação dos grãos na coluna. Este procedimento foi

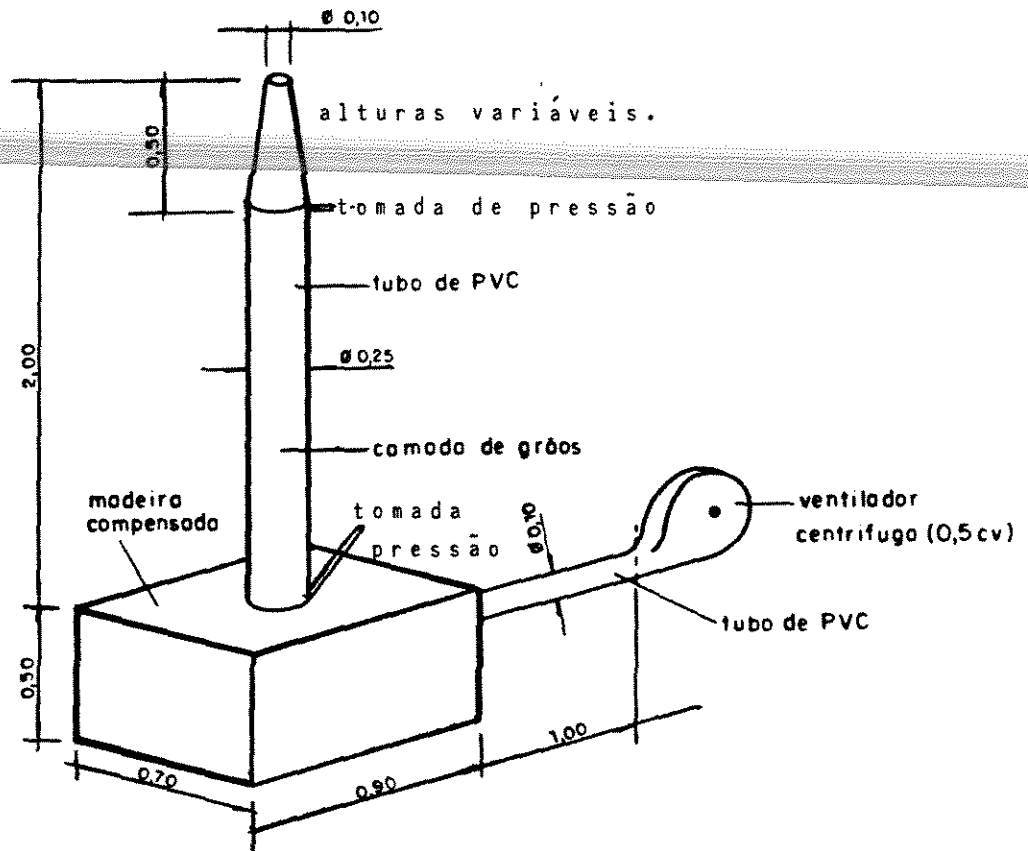


FIGURA 4.1. Esquema do equipamento experimental.

utilizado em todos os tratamentos visando uma melhor uniformização do produto na coluna. No topo da coluna foi colocado uma redução de diâmetros para a conexão do anemômetro. Após o final de cada conjunto de leituras de pressão estática, a coluna era descarregada e novamente carregada com outro lote, este procedimento foi repetido 3 vezes para cada tratamento.

#### 4.2. Matéria prima

Foram utilizados grãos de arroz em casca (*Sativa L.*) tipo agulhinha e grãos de milho (*Zea mays*) tipo comercial (flint), provenientes da Cooperativa Agrícola de Piracicaba.

Os produtos foram submetidos a uma limpeza em máquina de ar e peneiras na Usina de Beneficiamento de Sementes do Departamento de Agricultura da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ).

Após o beneficiamento os grãos foram armazenados em sacos de rafia, onde foram submetidos a um expurgo.

#### 4.3. Parâmetros analisados

##### 4.3.1. Nível de impurezas

Considerou-se como sendo impurezas materiais como galhos, palhas, resíduos maiores e menores que os grãos, retirados na operação de pré limpeza. O produto limpo foi considerado com 0% de impureza. Este procedimento foi realizado, na tentativa de considerar como impureza os resíduos do próprio produto. Os níveis dessas impurezas foram obtidos

com a adição de 5%, 10%, e 15% em peso do total em cada coluna. A mistura de grãos e impurezas foram feitas em caixas de cimento amianto de modo a facilitar a homogenização dos elementos envolvidos.

#### 4.3.2. Teor de umidade

O efeito do teor de umidade de grãos na resistência a passagem do ar, foi analisado para as faixas de umidade de 11%, 18% e 25% (+/- 1%) para os produtos estudados. O teor de umidade inicial para os grãos foram de 10,7% para o arroz e de 11,8% para o milho. Para atingirem o teor de umidade desejado os grãos foram submetidos ao processo de umidificação.

Processo este que consiste em adicionar água ao produto e condicioná-lo em embalagens herméticas por um período aproximado de 5 dias em câmara fria, na temperatura de +/- 10°C.

A determinação do teor de umidade realizado com o método indicado pelo M.A.(1976), onde as amostras foram colocadas em estufa à 105C +/- 3°C durante 24 horas. Para a determinação imediata do teor de umidade foi utilizado um determinador tipo universal que foi calibrado com a estufa para as determinações durante o experimento, e. verificar se estava ocorrendo redução de umidade.

#### 4.3.3. Altura da camada de grãos

Para analisar o efeito da altura da camada foram construídas quatro colunas de PVC, com diâmetro de 250mm nas seguintes alturas: 0,5m; 1,0m ; 1,5m ; 2,0m. Tais colunas foram



acopladas a câmara de distribuição ("plenum") de acordo com altura requerida pelos testes. Dois furos foram feitos na coluna de grãos de maneira a facilitar as tomadas de pressão, sendo que os mesmos distavam-se de 0,40m; 0,90m; 1,40m; 1,90m; pois eram feitos um na base a 5cm do encaixe no plenum e o outro no topo a 5cm da borda superior. O mecanismo de descarga foi construído no próprio tubo, sendo uma abertura onde o produto por gravidade, escoava livremente.

#### 4.3.4. Fluxos de ar

Utilizou-se um ventilador centrífugo de 0,5 cv. de potência para insuflar o ar através da camada de grãos. Para a determinação das faixas de fluxos de ar foram utilizados mecanismos de controle de vazão de ar (diafragma) na entrada do ventilador e válvula borboleta na tubulação entre o ventilador e o plenum.

Os fluxos de trabalho foram 0,5038 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>; 3,082 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>; 5,534 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>; 10,241 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>; controlados através dos mecanismos citados acima.

A variação do fluxo de ar desejada foi obtida mantendo-se constante a altura da camada de grãos e variando apenas os controles das aberturas do diafragma do ventilador e a válvula borboleta.

Para a obtenção dos fluxos de ar no sistema, utilizou-se um anemômetro digital, marca Airflow modelo LCA 6000 com limites de leitura de 0-30m/s, com precisão de +/- 5%. As medidas eram tomadas no topo da coluna, onde foi acoplado um redutor de diâmetros para o encaixe do anemômetro. As leituras

foram corrigidas de acordo com a relação existente entre os diâmetros dos encaixes.

#### 4.3.5. Variável resposta: Pressão Estática

As medidas da pressão estática foram efetuadas a 5cm do topo e da base da coluna respectivamente.

Essa opção com relação aos pontos de tomada de pressão no perfil da camada de grãos, foi proposta segundo pesquisas feitas por GUNASEKARAN et al. (1983); ABRAMS (1982). Para a obtenção dos dados foi utilizado um piezômetro de tubo inclinado com leituras em polegadas de água corrigidas para mmca, usando como fluido indicador o querosene.

#### 4.3.6. Propriedades físicas

Para a caracterização dos produtos foram determinadas as propriedades físicas dos materiais de acordo com o proposto na literatura. Tanto para o arroz quanto para o milho foram determinados: Peso específico aparente, Peso específico real e Porosidade de acordo com a metodologia utilizada por BENEDETTI (1987). Para a determinação dessas grandezas inicialmente defini-se: a) Volume Real como o volume ocupado pelo produto; b) Volume Aparente como o volume ocupado pelo produto mais o volume intersticial; c) Peso Específico Real como a relação existente entre uma certa massa do produto e o seu volume real; d) Peso Específico Aparente como relação existente entre uma certa massa do produto e o volume aparente correspondente; e) Porosidade como a relação entre o volume intersticial e o volume aparente expressa em %.

O módulo de finura e o tamanho médio para os grãos e impurezas foram analisados de acordo com HENDERSON & PERRY (1982).

#### 4.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o esquema Fatorial (4x3x4x4), com 3 repetições, resultante da combinação de 4 níveis de altura, 3 níveis de umidade, 4 níveis de impurezas juntamente com 4 níveis de fluxos de ar. As análises estatísticas foram executadas pelo programa SANEST (Sistema de Análise estatística) adotando-se o Teste de Tukey a nível de 5% para fazer as comparações das médias entre os tratamentos.

#### 4.5. Modelos estatísticos

Para descrever o comportamento dos fatores estudados na perda de pressão, utilizou-se o programa SANEST para a execução da regressão múltipla simples.

Nesta proposta associou-se a variável dependente pressão estática (P) com as variáveis independentes, altura (L), umidade (MC), níveis de impurezas (MF) e taxas de fluxos de ar (Q), conforme o modelo geral.  $P = f(Q, L, MC, MF)$ .

## CAPÍTULO 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Propriedades físicas dos produtos utilizados

Foram determinadas as propriedades físicas dos produtos utilizados neste trabalho. Na tabela 5.1. apresentamos o peso específico aparente, o peso específico real, porosidade e umidade relativa dos grãos.

**TABELA 5.1.** Propriedades físicas dos grãos de arroz em casca e milho.

PROPRIEDADES FÍSICAS	ARROZ	MILHO
Umidade, % bu.	10,7	11,8
Peso Específico Aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,60	0,745
Peso Específico Real, g/cm <sup>3</sup>	1,12	1,225
Porosidade, %	46,5	39,2

Com o objetivo de indicar a uniformidade do produto quanto ao tamanho, determinou-se o módulo de finura e o tamanho médio dos grãos e das impurezas do arroz em casca e milho respectivamente.

A tabela 5.2 apresenta a distribuição do material em % de peso, que foi retido nas peneiras. Por meio deste quadro verificamos a constituição granulométrica do material usado.

TABELA 5.2. Composição Granulométrica dos grãos e impurezas do arroz em casca e milho.

PENEIRAS (malhas)	ARROZ EM CASCA		MILHO	
	% Grãos	% Impurezas	% Grãos	% Impurezas
4"	0,0	3,268	94,286	7,020
8"	89,941	23,359	4,043	58,574
14"	8,896	59,787	0,468	25,911
28"	0,291	8,410	0,307	4,764
48"	0,286	2,230	0,294	0,941
100"	0,283	1,066	0,287	0,830
Fundo	0,304	1,877	0,315	1,961

Nota-se através da tabela 5.2 que a composição granulométrica dos grãos de arroz em casca e milho, podem ainda serem classificados de acordo com PERRY & HENDERSON (1982), em grossa, média, e fina (G,M,F). Para o arroz em casca temos (G= 9,0; M= 0,9; F= 0,06) e para a sua impureza (G= 2,6; M=7,0; F= 0,3). Os grãos de milho apresentaram a seguinte classificação: (G= 9,8; M=0,1; F= 0,06) e a impureza do milho (G= 6,6; M=3,1; F= 0,2).

Verifica-se que esses produtos possuem impurezas menores que os grãos, o que pode ser observado na tabela 5.3, onde estão apresentados o módulo de finura.

TABELA 5.3. Módulo de Finura e Tamanho médio dos grãos e impurezas do arroz em casca e milho.

PRODUTO	MÓD.FINURA	TAMANHO MÉDIO
Arroz em casca	4,87	3,048
Impureza do Arroz	4,06	1,727
Milho	5,896	6,198
Impureza do Milho	4,556	2,438

Na verificação da perda de umidade pelos produtos durante o período de testes foi montada a tabela 5.4. Observa-se que durante a realização dos testes as perdas de umidade foram baixas. O curto tempo de exposição do produto ao fluxo de ar variou em média de 10 minutos, sendo considerados aí o tempo de homogenização do ar na massa granular. Essas perdas de umidade durante o experimento não alteraram significativamente os resultados. Ressaltamos que as determinações de umidade foram feitas por meio de um determinador de umidade universal calibrado com a estufa, apresentando um fator de correção de 0,97. As perdas totais de umidade apresentadas na tabela 5.4. foram feitas para os 4 fluxos com os valores extremos de umidade das quatro leituras.

TABELA 5.4. Perda de umidade dos grãos de arroz em casca e milho durante o período dos testes, para os teores de umidade 25%.

ALTURA DA CAMADA (metros)	Arroz em casca		Milho	
	Antes	Depois	Antes	Depois
0,5	25,8	24,6	24,9	23,7
1,0	26,1	25,3	25,7	24,4
1,5	24,7	23,2	26,1	25,1
2,0	26,3	25,1	25,5	24,0

## 5.2. Análise de variância

### 5.2.1. Análise para os produtos limpos

Foram considerados produtos limpos, os grãos submetidos a limpeza na máquina de ar peneiras. Sendo considerado aqui com 0% de impureza.

A análise feita inicialmente foi na tentativa e eliminar a influência do nível de impureza no estudo.

#### 5.2.1.1. Arroz

Analisando a tabela 5.5. constatamos que para o arroz em casca limpo, todas as causas de variação foram significativas a nível de 5% na perda de carga da massa de grãos.

TABELA 5.5. Análise de variância para o Arroz em Casca, com 0% de impureza.

CV.	G.L.	S.Q.	F	P>F
A	3	1197.1487435	240.2982	0.00001
U	2	275.1987564	82.8591	0.00001
F	3	11673.8845600	2343.2453	0.00001
A x U	6	86.9936917	8.7309	0.00001
A x F	9	650.8694470	43.5487	0.00001
U x F	6	136.3802728	13.6875	0.00001
A x U x P	18	87.8215427	2.9380	0.00054
RESIDUO	96	159.4217676		
TOTAL	143	14267.7187818		

A = altura; U = umidade; F = Fluxo

A tabela 5.6. representa as médias de altura para o fluxo 1. Para todas as alturas do experimento não houve diferença significativa entre as médias.

TABELA 5.6. Teste de Tukey para médias de altura da camada dentro de  $0,5038 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$  do fator fluxo do ar.

ALTURA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
2,0 m	9	2.514750	A
1,5 m	9	2.246510	A
1,0 m	9	1.838562	A
0,5 m	9	1.285317	A

O mesmo comportamento foi observado quando o fator fluxo 1, foi associado com os níveis de umidade, para as diversas alturas, e em todas as interações similares, tal comportamento pode ser analisado através da tabela 5.7.



TABELA 5.7. Teste de Tukey para médias de altura da camada dentro de 25% fator umidade e 0,5038 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> fator fluxo do ar.

ALTURA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
2,0 m	3	2.313570	A
1,5 m	3	2.011800	A
1,0 m	3	1.777090	A
0,5 m	3	0.737660	A

Porém para os demais níveis nas diversas combinações (interações) houve uma diferença significativa entre as médias dos tratamentos. Esses resultados podem ser verificados através das tabelas 5.8; 5.9;5.10.

TABELA 5.8. Teste de Tukey para médias de altura da camada dentro de 18% do fator umidade e 5,534 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

ALTURA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
2,0 m	3	18.156497	A
1,5 m	3	14.283780	B
1,0 m	3	10.964310	C
0,5 m	3	7.443660	D

**TABELA 5.9.** Teste de Tukey para médias de umidade dentro de 1,5 m do fator altura da camada e 10,241 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

UMIDADE	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
11 %	3	3.305133	A
18 %	3	2.823800	B
25 %	3	2.438740	C

**TABELA 5.10.** Teste de Tukey para médias de fluxo de ar dentro de 0,5 m do fator altura da camada e 18 % do fator umidade.

FLUXO	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
10,241	3	15.557920	A
5,534	3	7.443660	B
3,082	3	3.965540	C
0,5038	3	1.274140	C

Analisando as figuras 5.1. e 5.2. observamos que aumentando-se a altura da camada de grãos, aumenta-se a resistência, a passagem do ar, para os fluxos estudados nos diversos teores de umidade. Para as demais situações o comportamento foi o mesmo.

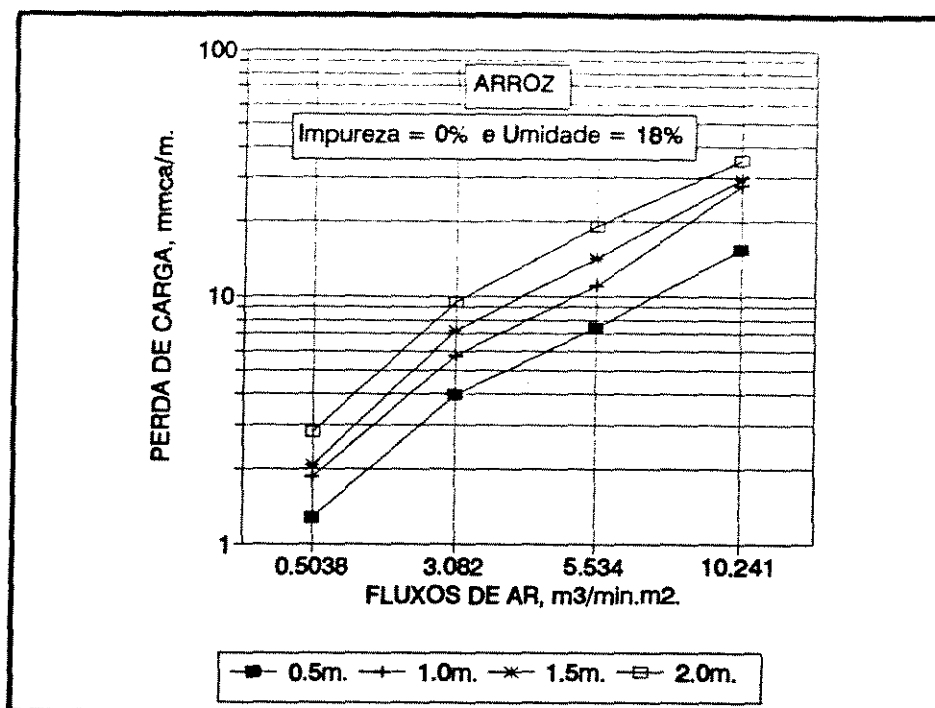


Figura 5.1. Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de altura da camada, em arroz em casca com 0% de impureza e 18% de umidade.

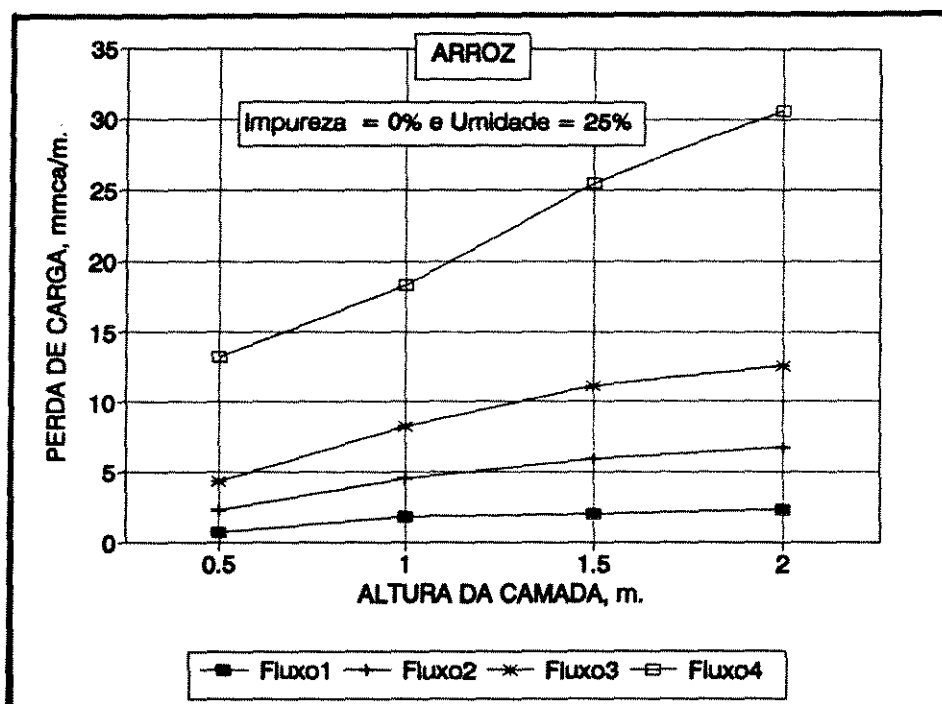


Figura 5.2. Perda de Carga em função da altura da camada para níveis de fluxo de ar, em arroz em casca com 0% de impureza e 25% de umidade.

A relação entre o aumento da altura da camada e o aumento da pressão estática, são coincidentes com as pesquisas realizadas por SHELDON et al. (1969); CHUMA et al. (1983); GUNASEKARAN et al. (1983); JAYAS et al. (1987); ARAUJO (1986). Esse comportamento é explicado pelo fato de que a medida que aumenta a altura da camada, aumenta-se também a compactação dos grãos, ou seja o espaço intersticial da massa é reduzido. Dessa forma há uma maior dificuldade para o ar escoar livremente entre os grãos, aumentando-se assim pressão estática na massa granular.

Através da figura 5.3, verificamos a influência do teor de umidade em função do fluxo de ar. Nota-se que para

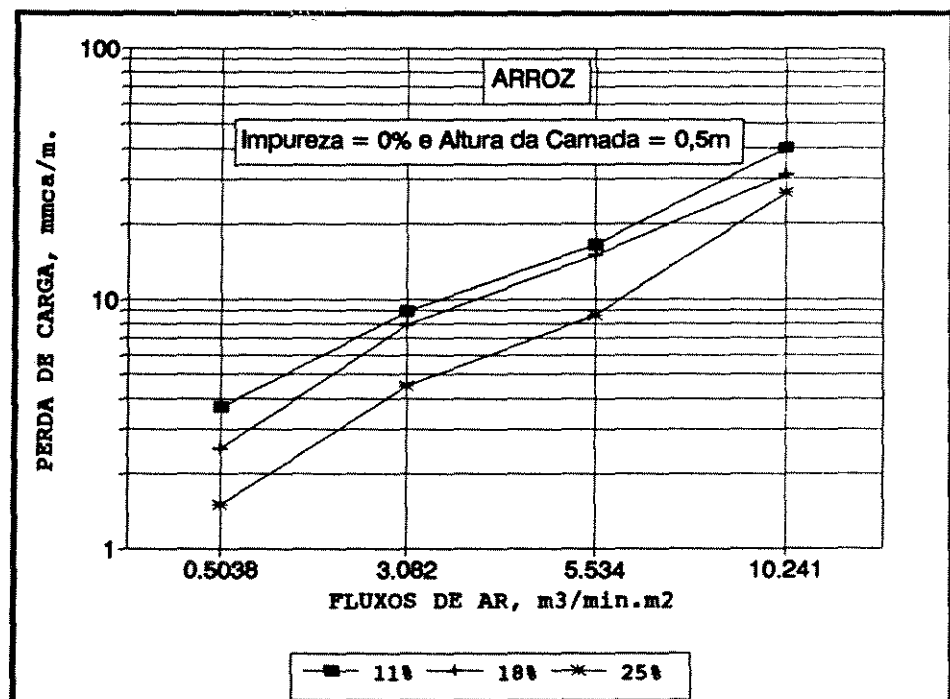


Figura 5.3. Perda de Carga, em função do fluxo de ar para níveis de umidade em arroz em casca com 0% de impureza e 0,5 m de altura da camada.

o arroz em casca limpo, que quanto menor a umidade do grão maior a resistência a passagem do ar, e que a massa granular mais úmida oferece uma menor resistência ao fluxo.

Aumentando-se o teor de umidade do arroz em casca, há uma redução na pressão estática, essas conclusões coincidem com as pesquisas realizadas por NELLIST et al. (1969); FARMER et al. (1981); HAQUE et al. (1982); SILVA et al. (1988); PATIL (1988).

Nota-se pelas tabelas 5.5 e 5.9 vistas anteriormente que o efeito do teor de umidade na perda de pressão é significativo, esse comportamento pode ser explicado pelo fato do arroz em casca ao umidificar-se aumenta também seu peso específico (real e aparente), causando uma redução da porosidade, característica essa que ocorre somente com esse produto. (BENEDETTI, 1987). Esse comportamento distinto apresentado pelo arroz em casca pode ser entendido pelo fato da água adicionada para elevar a umidade do produto aumentou também o peso do grão, que expandiu-se ocupando o espaço vazio entre a casca e o grão. Isto propiciou uma aumento no peso específico e conseqüentemente uma redução na porosidade.

#### 5.2.1.2. Milho

A análise de variância para o milho considerando-o com 0% de impureza, com o mesmo objetivo feito com o arroz, ou seja eliminar o efeito do teor de impurezas no estudo, pode ser analisado na tabela 5.11.

TABELA 5.11. Análise de Variância para o Milho com 0% de impureza.

CV.	G.L.	S.Q.	F	P>F
A	3	1110.0975002	361.9493	0.00001
U	2	179.1908518	85.3322	0.00001
F	3	6188.6609631	1964.7281	0.00001
A x U	6	49.5103715	7.8591	0.00001
A x F	9	780.6800091	82.6147	0.00001
U x F	6	66.8573778	10.6127	0.00001
A x U x F	18	29.6152139	1.5670	0.08441
RESIDUO	96	100.7962117		
TOTAL	143	8535.4084991		

A = altura; U = umidade; F = Fluxo

Por meio desta tabela, foi possível verificar que somente a interação tripla não foi significativa a nível de 5%, na resistência ao escoamento do ar na massa de grãos. Porém o mesmo não aconteceu com a arroz em casca, onde a interação tripla foi significativa.

Na análise dos dados, onde o teste de Tukey foi aplicado a nível de 5%, verificou-se que para o fluxo 1 não houve diferenças significativas entre as médias de altura e nem de umidade quando submetidas a esse fluxo. Essas observações estão na tabela 5.12. É interessante salientar que esse mesmo comportamento ocorreu com os grãos de arroz em casca.

**TABELA 5.12.** Teste de Tukey para médias de altura dentro de  $0,5038 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$  do fator fluxo de ar.

ALTURA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
2,0 m	9	1.659735	A
1,5 m	9	1.564733	A
1,0 m	9	1.251787	A
0,5 m	9	0.476126	A

Nas combinações, Altura x Fluxo, Altura x Umidade e Umidade x Fluxos, apresentaram diferenças significativas, exceto as que envolviam o fluxo 1. As tabelas 5.13 e 5.14 ilustram o exposto acima.

**TABELA 5.13.** Teste de Tukey, para médias de altura da camada dentro de  $3,082 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$  do fator fluxo de ar.

ALTURA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
2,0 m	9	0.498444	A
1,5 m	9	0.470634	A
1,0 m	9	0.335873	B
0,5 m	9	0.160017	C

**TABELA 5.14.** Teste de Tukey, para médias do fator umidade dentro de 1,0 m do fator altura da camada.

UMIDADE	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
11%	12	8.768095	A
18%	12	6.638940	B
25%	12	5.398330	C

O comportamento dos grãos de milho com relação a resistência oferecida a passagem do ar pela massa granular, pode ser melhor observado nas figuras de 5.4 a 5.5. Verifica-se que, quando a altura da camada aumentou, a resistência ao escoamento do ar na massa granular de milho aumentou, e isso foi observado para todos os teores de umidade estudado. Tal comportamento foi o mesmo para o arroz, e coincide com o perfil de vários grãos estudados por pesquisadores citados anteriormente.

O teor de umidade da massa granular de milho teve influência no perfil da pressão estática nos níveis de umidade estudados. Pelas figuras 5.6 e 5.7 verifica-se que com a elevação do teor de umidade do grão, ocorreu uma redução na pressão estática. Para todos os níveis de altura da camada foram observados o mesmo tipo de comportamento. Este fato aconteceu também com o arroz em casca, que segundo vários autores apresentados pela literatura este comportamento é normal devido ao aumento do peso específico do grão, e a redução da porosidade do mesmo facilitando assim a passagem do ar pela massa. (PATIL, 1988; GUNASEKARAN et al., 1983; SOKHANSANJ et al., 1990).



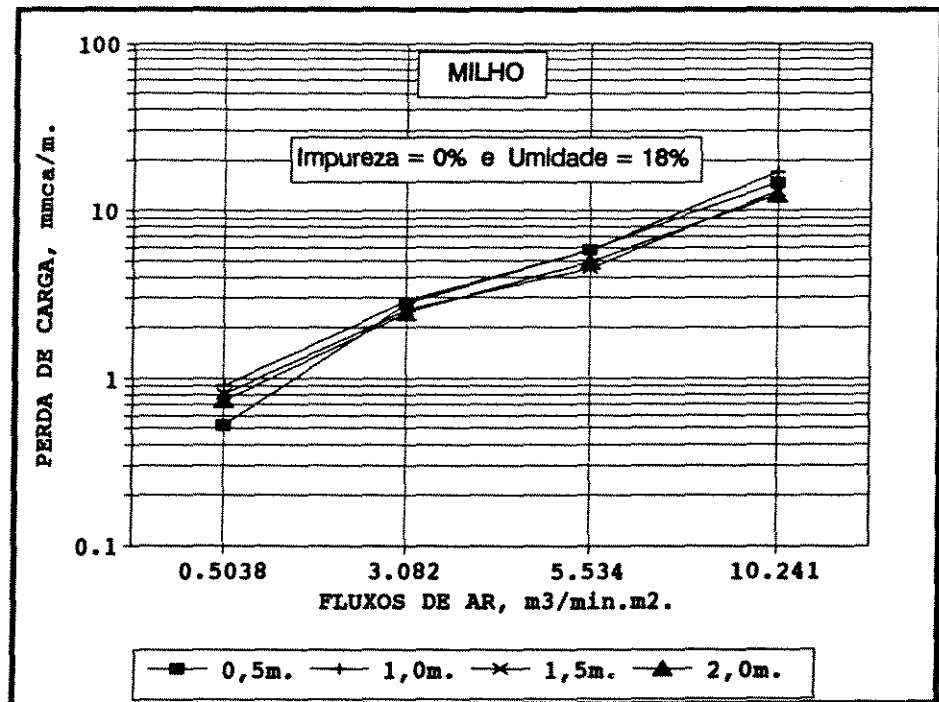


Figura 5.4. Perda de Carga, em função do fluxo de ar, para os níveis de altura da camada em milho, com 0% de impureza e 18% de umidade.

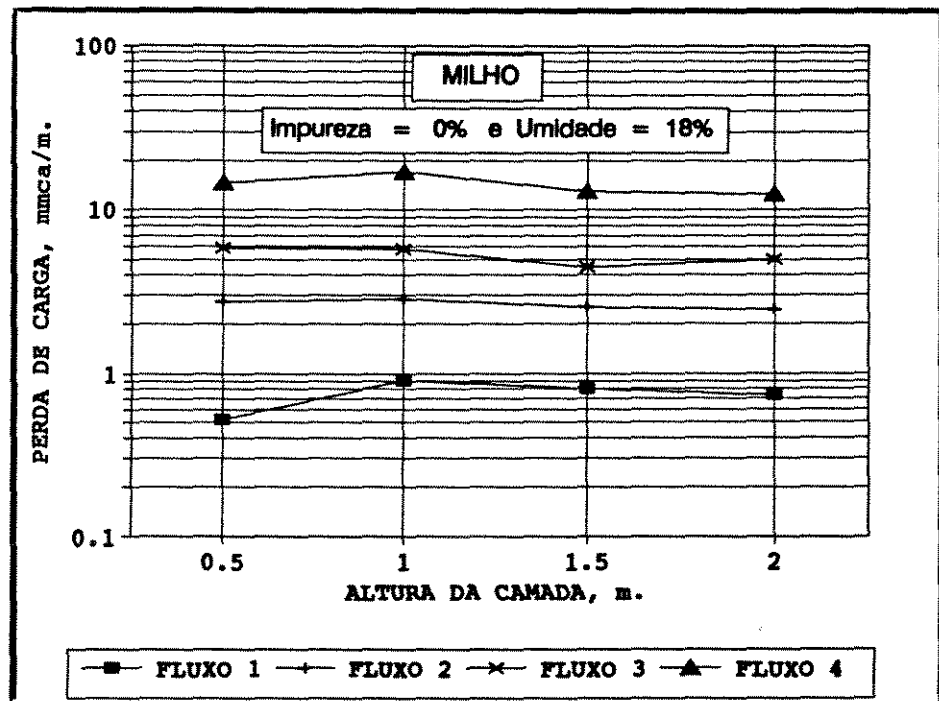


Figura 5.5. Perda de carga em função da altura da camada para níveis de fluxos de ar em milho com 0% de impureza e 18% de umidade.

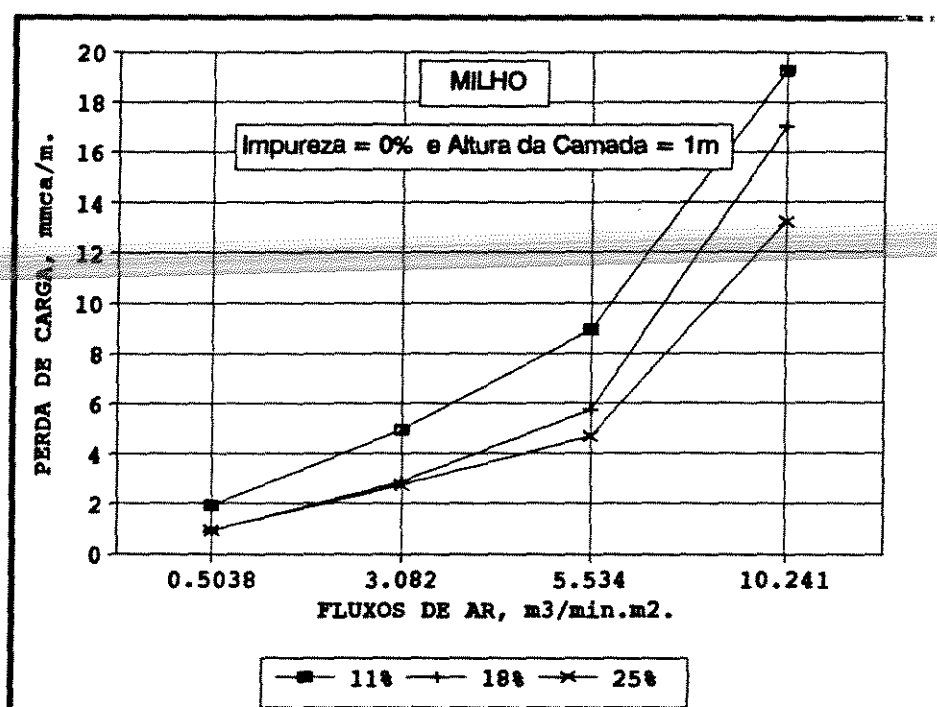


Figura 5.6. Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de umidade, em milho com 0% de impureza e 1,0m de altura da camada.

O efeito da variação do fluxo de ar através da massa granular de milho pode ser observado nas figuras 5.4., 5.5., 5.6. , 5.7. Nota-se que quando aumentamos o fluxo de ar, aumenta-se também a perda de carga.

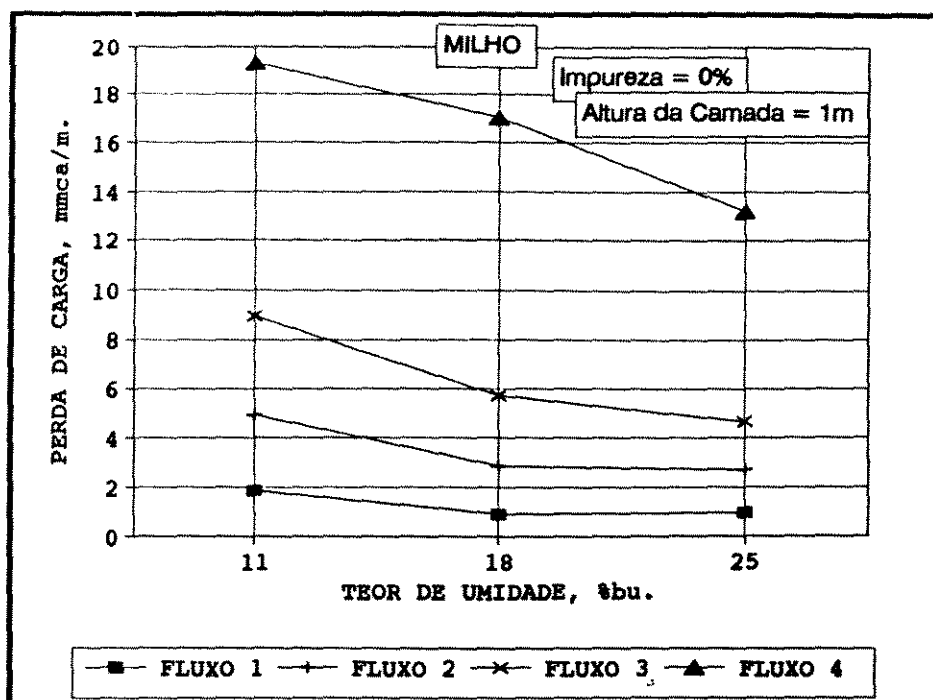


Figura 5.7. Perda de Carga em função do teor de umidade para níveis de fluxos de ar em milho com 0% de impureza e 1,0m de altura da camada.

## 5.2.2. Análise para os produtos com vários níveis de impurezas

### 5.2.2.1. Arroz

Analisando o efeito dos níveis de impurezas na camada de grãos de arroz em casca (*Oryza sativa* L), observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos a nível de 5% de probabilidade do teste de F.

Na tabela 5.15 verificamos que as interações duplas, triplas e quadruplas foram significativas exceto as interações triplas altura x impureza x fluxo e umidade x impureza x fluxo.

TABELA 5.15. Análise de Variância para o Arroz em casca vários níveis de impureza.

CV.	G.L.	S.Q.	F	P>F
ALTURA	3	6648.2613896	1431.3923	0.00001
UMIDADE	2	1324.3391085	427.7018	0.00001
IMPUREZA	3	407.2025171	87.6720	0.00001
FLUXO	3	52339.9477477	11268.9609	0.00001
A x U	6	189.2333148	20.3713	0.00001
A x I	9	84.4621488	6.0617	0.00001
A x F	9	3069.4616780	220.2884	0.00001
U x I	6	26.6653876	2.8706	0.00967
U x F	6	522.9840274	56.3001	0.00001
I x F	9	147.4736026	10.5838	0.00001
A x U x I	18	109.0066610	3.9116	0.00001
A x I x F	27	198.1089721	7.1089	0.00001
A x U x F	18	43.3919743	1.0380	0.41510
U x I x F	18	14.8036627	0.5312	0.94310
A x U x I x F	54	123.1202081	1.4727	0.02130
RESIDUO	384	594.5102973		
TOTAL	575	65842.9726975		

As médias de impureza apresentaram diferenças significativas entre os níveis adotados no experimento. Pelo Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade podemos dizer que as médias de pressão com adição de 10% e 15% de impurezas são iguais estatisticamente ocasionando maiores perdas de carga. Tal fato pode ser verificado na tabela 5.16 abaixo.

TABELA 5.16. Teste de Tukey, para médias de impurezas.

IMPUREZAS	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	144	13.262093	A
10 %	144	13.147035	A
5 %	144	11.755334	B
0 %	144	11.345015	C

Nas interações duplas (impureza x altura; impureza x umidade; e impureza x fluxo) podemos observar que o comportamento foi similar. Houve diferenças significativas entre as médias. Para a maioria das interações duplas os níveis de 10% e 15% são iguais estatisticamente, ocasionando uma maior perda de carga. Tabelas 5.17; 5.18 e 5.19.

**TABELA 5.17.** Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 2,0 m de altura da camada.

IMPUREZAS	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	36	17.365187	A
10 %	36	17.162887	A
5 %	36	15.355045	B
0 %	36	14.480768	C

**TABELA 5.18.** Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 18% do fator umidade.

IMPUREZAS	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	48	13.909271	A
10 %	48	13.760293	A
5 %	48	13.005449	B
0 %	48	12.074991	C

TABELA 5.19. Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 3,082 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

IMPUREZAS	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	36	7.316246	A
10 %	36	7.281569	A
5 %	36	6.330166	B
0 %	36	6.052165	B

Já as interações triplas que envolvem o fator impureza apenas a combinação altura x umidade x impureza foi significativa as demais (altura x impureza x fluxo e umidade x impureza x fluxo) não foram significativas no teste de F.

Analisando a tabela 5.20 resultante do teste de médias para a interação significativa temos que para a altura de 0,5m nos 3 níveis de umidade estudado as médias de impureza não foram diferentes entre si. A diferenciação se deu a partir da altura de 1,0m como pode ser observado na tabela 5.21; e 5.22.

TABELA 5.20. Teste de Tukey, para as médias de impurezas dentro de 0,5 m do fator altura da camada e 11% do fator umidade.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
10 %	12	7.401748	A
15 %	12	7.306187	A
0 %	12	7.058065	A
5 %	12	6.697618	A

TABELA 5.21. Teste de Tukey, para médias de impureza dentro de 1,0 m do fator altura da camada e 18% do fator umidade.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
10 %	12	14.107748	A
15 %	12	13.244350	AB
5 %	12	12.347422	B
0 %	12	12.221685	B

TABELA 5.22. Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 1,5 m do fator altura da camada e 25% do fator umidade.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
10 %	12	14.652522	A
15 %	12	14.233485	A
5 %	12	12.003740	B
0 %	12	11.165490	B

Para os grãos de arroz em casca a interação quádrupla (altura x umidade x impureza x fluxo) foi significativa a nível de 5% do teste de F, conforme a tabela 5.14. As diferenças entre as médias de pressão para os níveis de impurezas começaram aparecer onde os fluxos foram maiores que  $5,534 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$ . Para combinações com níveis menores que esses não houve diferença significativa entre as médias.

A existência dessas diferenças pode ser observada nas tabelas 5.23 e 5.24, já a inexistência das mesmas estão mostradas nas tabelas 5.25 e 5.26.

TABELA 5.23. Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 1,5 m do fator altura da camada e 25% do fator umidade e 5,534 do fator fluxo de ar.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
10 %	3	18.776800	A
15 %	3	18.005610	AB
5 %	3	15.759099	BC
0 %	3	14.283780	C

TABELA 5.24. Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 1,5 m do fator altura da camada, e 11% do fator umidade e 10,241 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
10 %	3	35.877098	A
15 %	3	35.206500	A
5 %	3	34.535899	A
0 %	3	31.853500	B



TABELA 5.25. Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 0,5 m do fator altura da camada, 18% do fator umidade e 3,082 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
0 %	3	3.956540	A
10 %	3	3.788890	A
15 %	3	3.721830	A
5 %	3	3.688300	A

TABELA 5.26. Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 1,0 m do fator altura da camada, 11% do fator umidade e 3,082 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	3	2.112390	A
10 %	3	2.045330	A
0 %	3	1.877680	A
5 %	3	1.844150	A

As figuras 5.8., 5.9. e 5.10 evidenciam que os níveis de 10% e 15% produziram praticamente as mesmas perdas de carga nos grãos de arroz em casca.

Nota-se também que a maior diferença existente entre as perdas de pressão são nos níveis de 5% para 10%. Este comportamento pode ser visto nas tabelas 5.15, 5.16, 5.18, 5.21 onde os níveis 15% e 10% são iguais estatisticamente e diferem dos níveis de 0% e 5%.

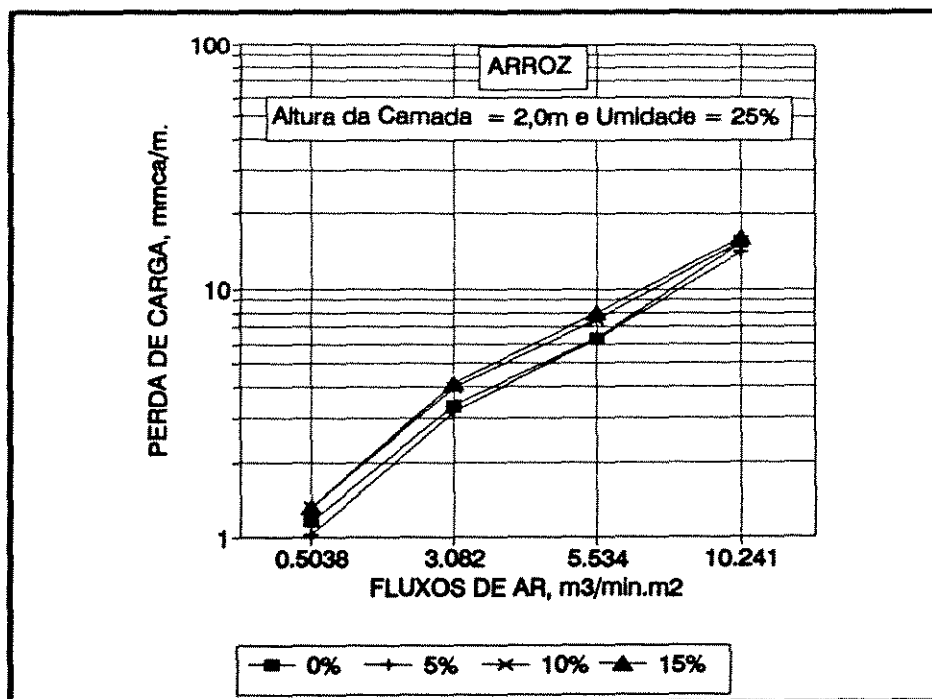


FIGURA 5.8. Perda de Carga, em função do fluxo de ar para níveis de impurezas em grãos de arroz em casca com 25% de umidade em 2,0 m de altura da camada.

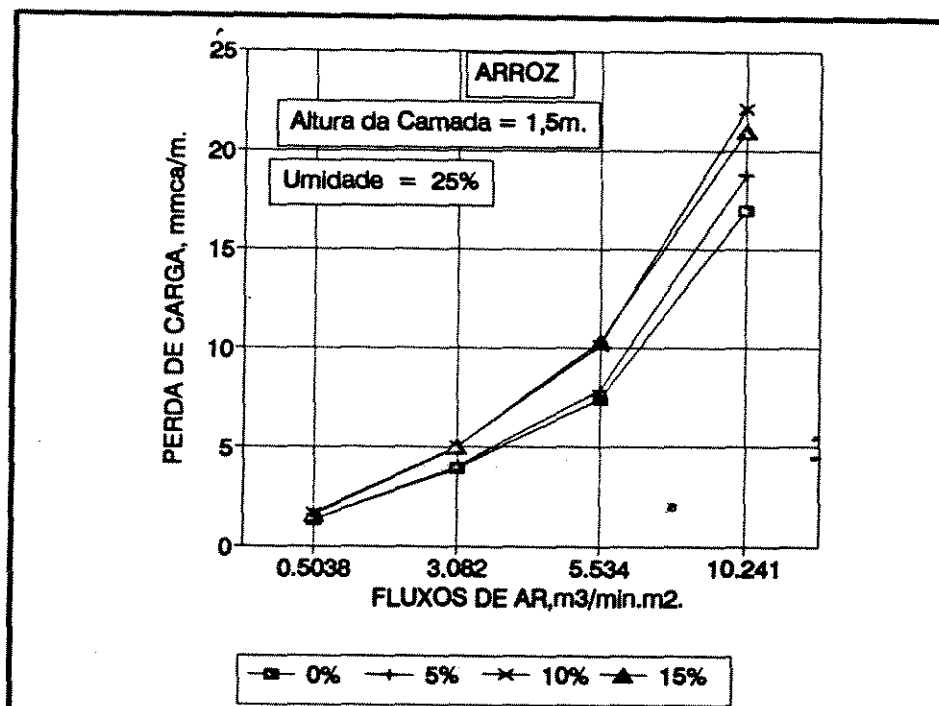


FIGURA 5.9. Perda de Carga em função do fluxo de Ar para níveis de impurezas em grãos de Arroz em casca com 25% de umidade em 1,5 m de altura da camada.

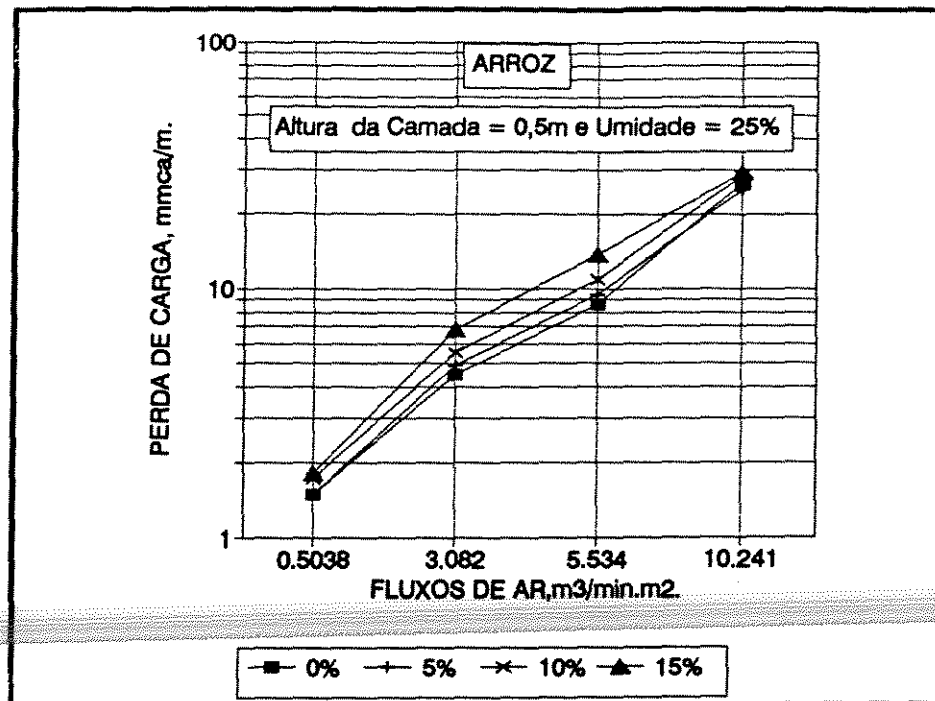


FIGURA 5.10. Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de impurezas em grãos de arroz em casca com 25% de umidade em uma camada de 0,5 m.

O aumento da perda de carga ter foi mais evidente nos intervalos dos níveis de 5% para 10% de impurezas conforme figuras 5.11, 5.12 e 5.13.

Esse comportamento pode ser explicado em função da granulometria das impurezas. Pois por serem menores que os grãos elas acabam preenchendo os espaços intergranulares, impedindo assim o fácil escoamento do ar através da massa granular. Ao preencherem esses espaços, maior dificuldade terá o ar de escoar livremente aumentando-se assim a perda de carga. (SHEDD,1953; SILVA,1988; YANG et al.,1990).

Nessas figuras observamos que aumentando-se os níveis de impurezas aumenta-se também a perda de carga e que com um aumento da vazão do ar há um acréscimo na perda de carga dos grãos. Esses resultados estão de acordo com SHEDD (1953); PATTERSON et al. (1971); HAQUE et al.(1978) SILVA (1988); JAYAS et al.(1991a).

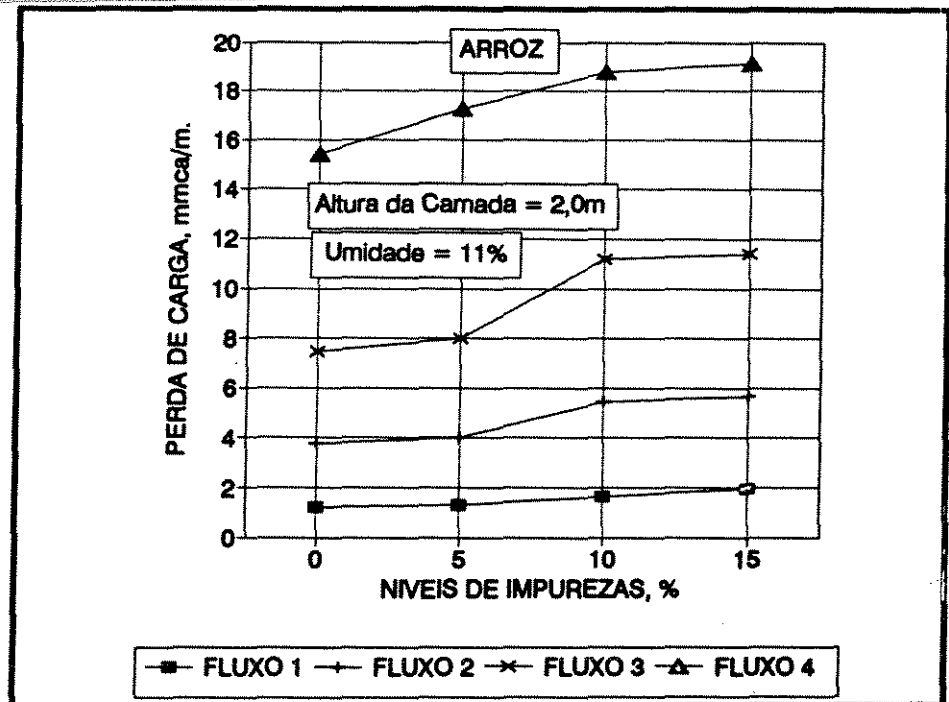


FIGURA 5.11. Perda de carga, em função dos níveis de impurezas para níveis de fluxos de ar em grãos de arroz em casca com 11% de umidade em uma camada de 2,0 m.

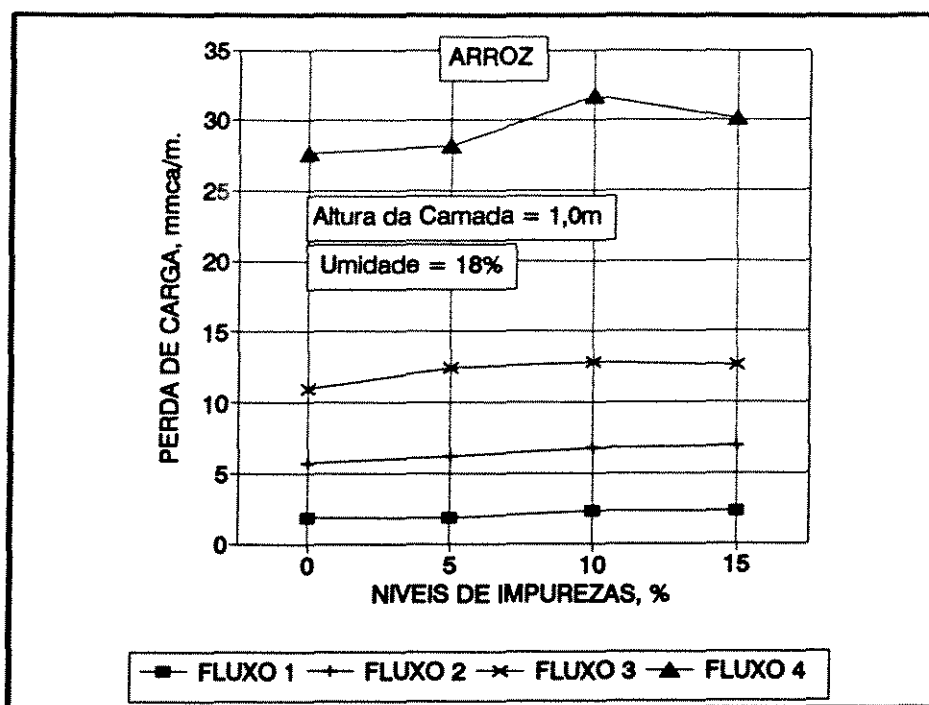


FIGURA 5.12. Perda de Carga, em função dos níveis de impurezas para níveis de fluxos de ar em grãos de arroz em casca com 18% de umidade em uma camada de 1,0 m.

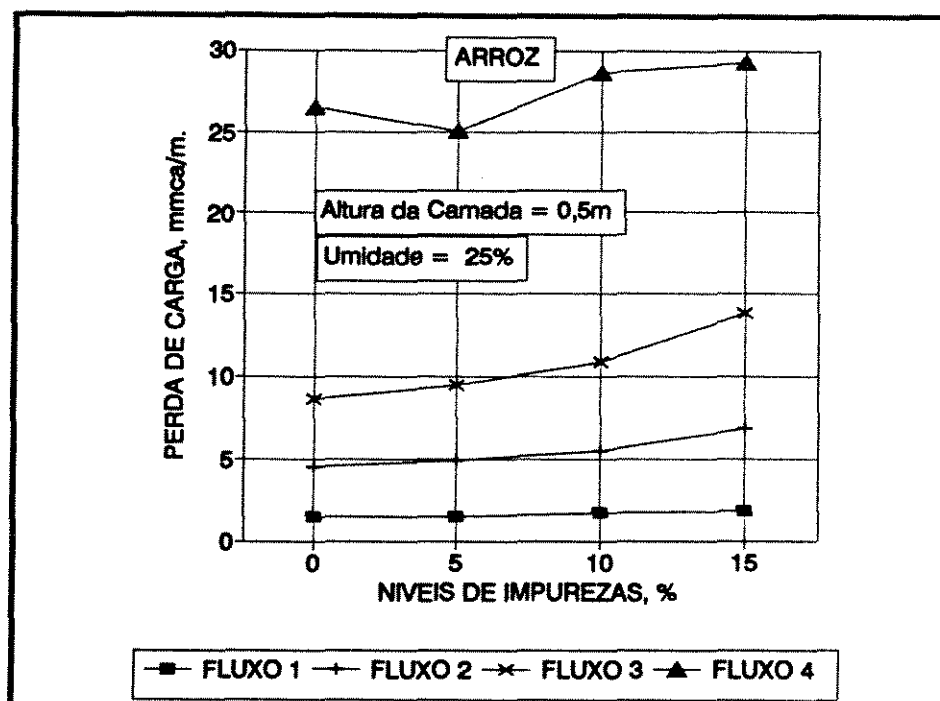


FIGURA 5.13. Perda da Carga, em função dos níveis de impurezas para níveis de fluxos de ar em grãos de arroz em casca com 25% de umidade em uma camada de 0,5 m.

## 5.2.2.2. Milho

Analisando o efeito dos níveis de impurezas, na camada de grãos de milho (*Zea mays*), observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos a nível de 5% de probabilidade do teste de F.

Na tabela 5.27. verificamos que todas as anterações, duplas, triplas envolvendo a causa de variação impureza foram significativas. Porém, não houve significância a interação quádrupla envolvendo altura, unidade, impureza e fluxo de ar.

TABELA 5.27. Análise de Variância para o Milho com vários teores de impureza.

CV.	G.L.	S.Q.	F	P>F
A	3	5604.2403001	1400.4567	0.00001
U	2	1020.5414159	382.5971	0.00001
I	3	841.4554485	210.2727	0.00001
F	3	33940.3224981	8481.4025	0.00001
A x U	6	306.6045933	38.3090	0.00001
A x I	9	47.3692683	3.9457	0.00019
A x F	9	3416.9978665	284.6264	0.00001
U x I	6	120.1759723	15.0155	0.00001
U x F	6	422.0969290	52.7392	0.00001
I x F	9	353.8939798	29.4784	0.00001
A x U x I	18	71.0917059	2.9609	0.00014
A x U x F	18	167.3397956	6.9695	0.00001
A x I x F	27	57.3524772	1.5924	0.03222
U x I x F	18	58.9528727	2.4553	0.00114
A x U x I x F	54	83.7936916	1.1633	0.21169
RESIDUO	384	512.2220405		
TOTAL	575	47024.4508554		

A = altura; U = unidade; F = fluxo; I = impureza

Para as médias de impureza, houve uma diferença significativa a nível de 5% com o teste de Tukey, entre os níveis adotados neste trabalho. Baseando-se na tabela 5.28, podemos dizer que com o nível de 15% de impureza adicionado na massa granular foi apresentado uma maior resistência a passagem do fluxo de ar, sendo que essa resistência foi decrescente com a redução desses teores.

TABELA 5.28. Teste de Tukey, para médias de impurezas.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	144	10.905368	A
10 %	144	10.125642	B
5 %	144	8.887057	C
0 %	144	7.730202	D

Na interação impureza e altura, verificamos por meio da tabela 5.29 que também houve uma diferença significativa ao nível de 5%. O mesmo comportamento foi observado para as interações impureza e umidade, impureza e fluxo. Em todas as interações duplas o nível de 15% de impureza foi o que ofereceu maior resistência a passagem do fluxo de ar, como pode ser verificado nas tabelas 5.30 e 5.31.

TABELA 5.29. Teste de Tukey, para médias de impureza dentro de 2,0 m do fator altura da camada.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	36	14.846724	A
10 %	36	13.619886	B
5 %	36	12.206314	C
0 %	36	10.823204	D

TABELA 5.30. Teste de Tukey, para médias de impureza dentro de 18% do fator umidade.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	48	10.850038	A
10 %	48	10.331431	A
5 %	48	8.805820	B
0 %	48	6.895654	C

TABELA 5.31. Teste de Tukey, para médias de impureza dentro de 5,541 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	36	11.182183	A
10 %	36	10.165181	B
5 %	36	8.557136	C
0 %	36	7.428292	D



Nas interações impureza x altura x fluxo, observou-se que as médias de impurezas foram diferentes entre si a nível de 5%, sendo evidenciado na tabela 5.32. Porém para o fluxo 1 nas diversas alturas e umidades não houve diferença significativas entre as médias de impurezas podendo ser verificado na tabela 5.33.

**TABELA 5.32.** Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 2,0 m do fator altura da camada e 5,541 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	9	15.803519	A
10 %	9	14.362017	B
5 %	9	12.081977	C
0 %	9	10.327240	D

**TABELA 5.33.** Teste de Tukey, para médias de impurezas dentro de 1,0 m do fator altura da camada e 0,5038 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> do fator fluxo de ar.

IMPUREZA	NUM. REPET.	MÉDIAS (mmca)	5%
15 %	9	1.900033	A
10 %	9	1.687677	A
5 %	9	1.352377	A
0 %	9	1.251787	A

Ilustrando os resultados obtidos na análise estatística, na figura 5.14 podemos observar a influência do teor de impureza na resistência oferecida ao fluxo de ar.

Para todos os níveis de umidade e alturas de camada, verificamos que aumentando-se o teor de impureza há um aumento na pressão estática. Essas conclusões podem ser comprovadas nas figuras 5.15 e 5.16.

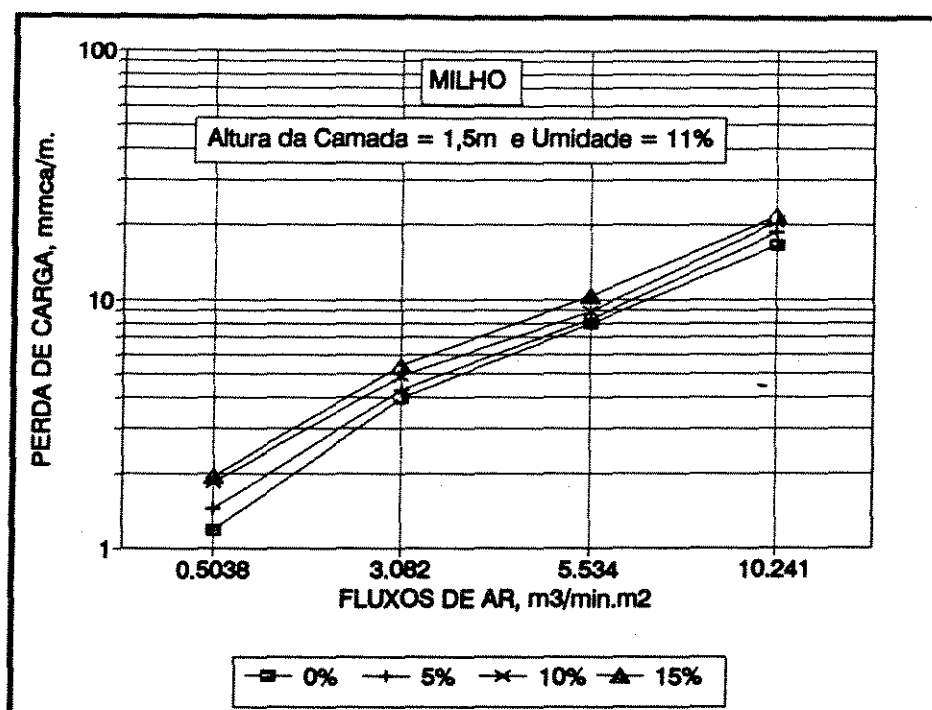


Figura 5.14. Perda de Carga em função do fluxo de ar para níveis de impurezas em grãos de milho, com 11% de umidade em uma camada de 1,5 m.

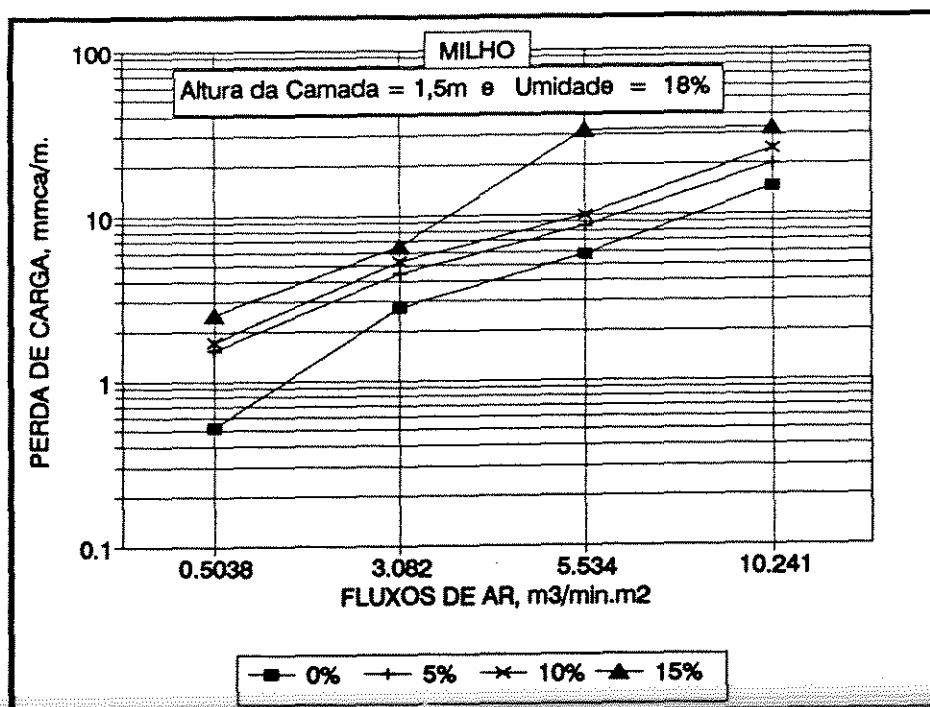


Figura 5.15. Perda de Carga, em função do fluxo de ar, para níveis de impurezas em milho com 18% de umidade em uma camada de 1,5m.

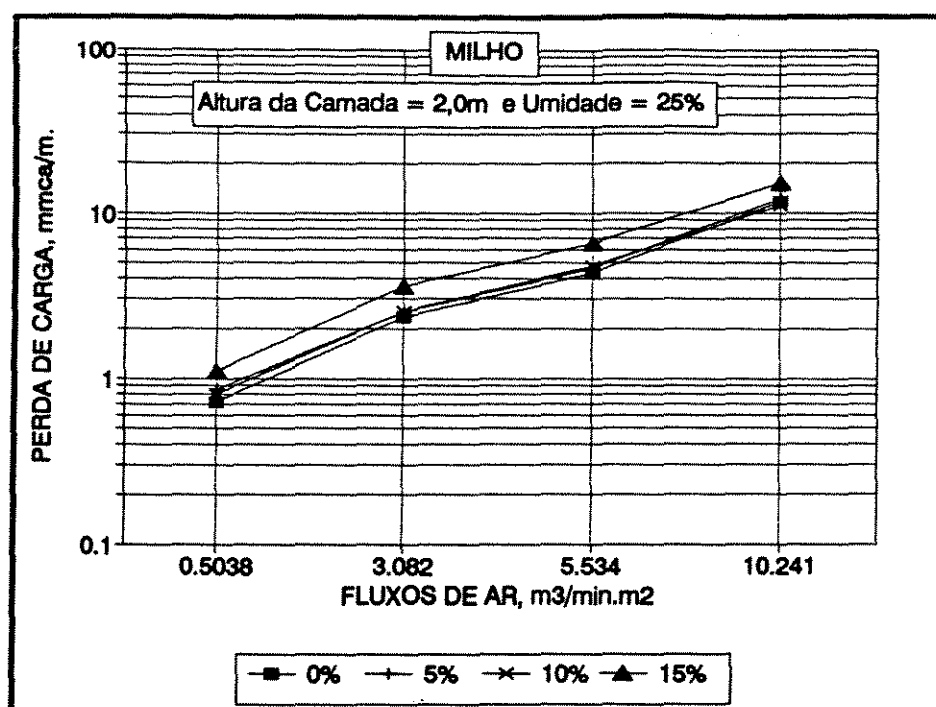


Figura 5.16. Perda de Carga, em função dos fluxos de ar para níveis de impureza, em milho com 25% de umidade em uma camada de 2,0m.

Nas figuras anteriores verificamos que aumentando-se as taxas de fluxo de ar, aumenta-se também a pressão estática. Podemos verificar que a medida que a impureza é adicionada ao produto nas diversas umidades e alturas de camada aumenta-se também a pressão.

As figuras 5.17., 5.18. e 5.19 confirmam ainda mais as colocações feitas anteriormente. Essas conclusões são coincidentes com SHEDD (1953); PATTERSON et al. (1971); GRAMA et al. (1984); SIEBNMORGIM & JINDAL (1987); SILVA (1988); YANG et al. (1990); SOKHANSANJ et al. (1990); JAYAS et al. (1991b). Pois como foi mostrado na tabela 5.3. as impurezas usadas são menores que os grãos. E quando adicionadas à massa granular tendem a aumentar a resistência ao fluxo de ar.

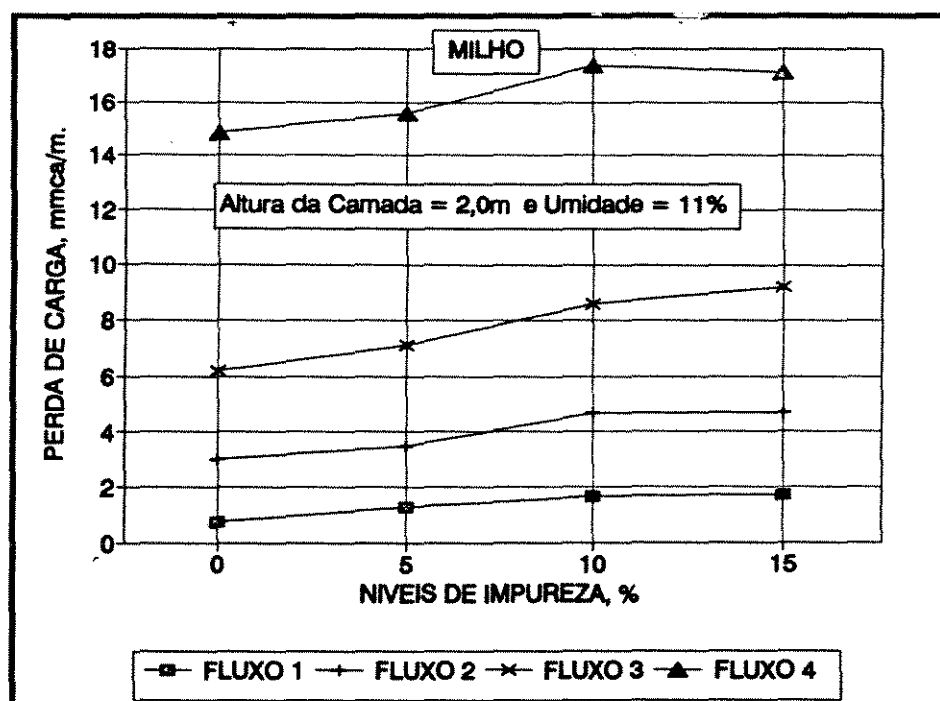


Figura 5.17. Perda de Carga, em função dos níveis de impureza para níveis de fluxos de ar, em milho com 11% de umidade em uma camada de 2,0m.

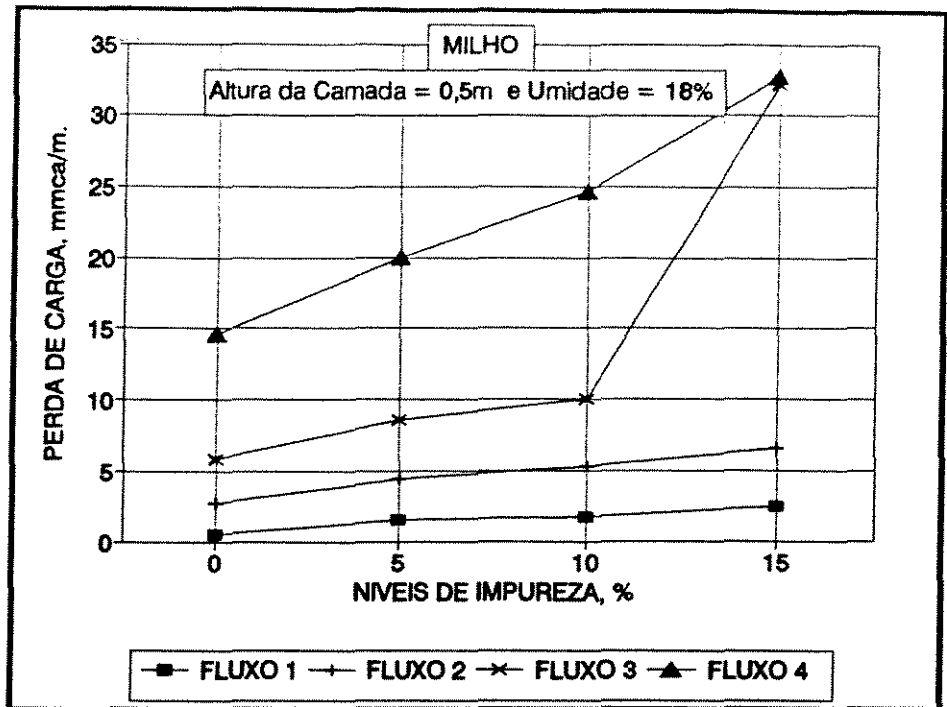


Figura 5.18. Perdas de Carga, em função dos níveis de impureza para níveis de fluxo de ar, em milho com 18% de umidade em uma camada de 0,5 m.

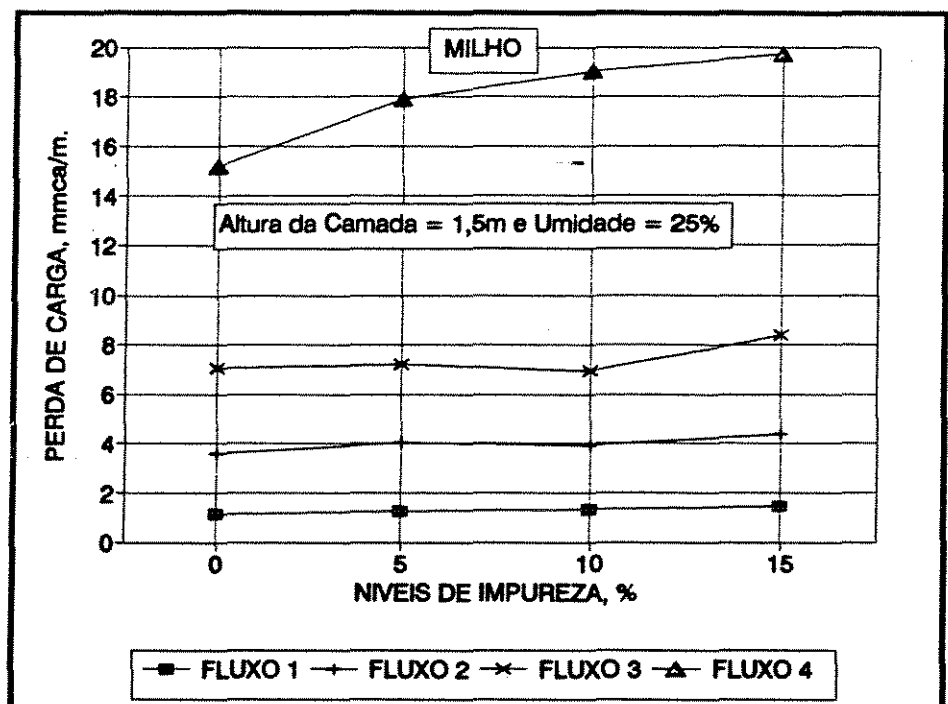


Figura 5.19. Perda de Carga, em função dos níveis de impureza para níveis de fluxo de ar, em milho com 25% de umidade em uma camada de 1,5m.

### 5.3. Modelos estatísticos

Os modelos foram determinados de acordo com a análise de regressão linear múltipla, aplicando-se a seleção de variáveis Stepwise.

Para os produtos estudados adotou-se a seguinte nomenclatura para as variáveis envolvidas no trabalho:

P = Pressão estática, mmca.

Q = Taxas de fluxos de ar, m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>.

L = Altura da camada de grãos, m.

MC= Teor de umidade, %.

FM= Nível de impurezas, % peso.

Os intervalos de abrangência de cada variável no modelo geral proposto inicialmente foram:

$$0,5038 \text{ m}^3/\text{min.m}^2 < Q < 10,241 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$$

$$0,5 \text{ m} < L < 2,0 \text{ m.}$$

$$0 \% < \text{FM} < 15\%$$

$$11 \% < \text{MC} < 25\%$$

Um modelo geral, envolvendo as quatro variáveis independentes foi encontrado para os produtos estudados.

A equação 5.1. descreve o comportamento dos grãos de arroz em função das variáveis umidade, impureza, altura de camada e fluxos de ar.

$$P = -4,366 + 2,632(Q) + 5,918(L) - 0,247(MC) + 0,139(FM) \quad \text{eq. (5.1)}$$

$$\text{com } (R^2) = 0,914$$

Para os grãos de milho, a equação que descreve o comportamento desses grãos em função das variáveis estudadas foi:

$$P = -5,045 + 2,120(Q) + 5,349(L) - 0,230(MC) + 0,224(FM)$$

eq. (5.5)

$$(R^2) = 0,863$$

Porém, através da seleção de variáveis STEPWISE, observou-se que a variável que teve maior influência na perda de carga foi o fluxo de ar.

As equações 5.3 e 5.4 mostram a relação existente entre a perda de carga e o fluxo de ar.

Para o arroz em casca:

$$P = -0,372 + 2,632(Q)$$

$$(R^2) = 0,793$$

Para o milho:

$$P = -0,822 + 2,119(Q), \text{ com}$$

$$(R^2) = 0,712$$

A influência dos fatores estudados no modelo geral, seguiu a seguinte ordem: fluxos de ar, altura da camada, umidade e impureza tanto para os grãos de arroz em casca, como para o milho.

## CAPÍTULO 6 - CONCLUSOES

\* Para o arroz em casca, limpo concluiu-se que aumentando a altura da camada, aumenta-se também a resistência ao escoamento do ar. Ao elevar o teor de umidade de 11% para 25% houve uma redução na perda de pressão. Aumentando-se a taxa de fluxo de ar, ocorre também um acréscimo na pressão estática.

\* Para o milho, limpo com 0% de impureza verificou-se que aumentando a altura da camada, e a taxa de fluxo de ar, aumenta-se também a perda de pressão estática nos grãos. Porém com o aumento no teor de umidade ocorreu uma redução na resistência ao escoamento do ar através da massa granular.

\* Para o arroz em casca com vários níveis de impurezas houve uma diferença significativa entre os tratamentos. Aumentando-se os níveis de impurezas, aumenta-se também a resistência ao escoamento. Os níveis de 10% e 15% foram iguais estatisticamente ocasionando maiores perdas, e diferiram dos níveis de 5% e 0%.



\* No milho com vários teores de impurezas a diferença significativa se deu em todos os níveis de umidade, fluxo e altura da camada. Estatisticamente os níveis de impurezas foram diferentes entre si. Aumentando-se as impurezas na massa granular, houve um aumento na resistência ao escoamento do ar.

\* Analisando conjuntamente esses produtos, observou-se que quantitativamente as perdas de pressão estática para o arroz em casca foram maiores que para o milho, nos diversos níveis estudados.

---

\* O comportamento apresentado para umidade, altura da camada e fluxo de ar, pelo arroz em casca diferiu do milho principalmente no que diz respeito ao teor de impureza.

\* Através da regressão multivariada determinou-se modelos que descrevem satisfatoriamente as condições encontradas para os produtos estudados.

Para o arroz em casca:

$$P = -4,366 + 2,632(Q) + 5,918(L) - 0,247(MC) + 0,1399(FM), \text{ com}$$

$$(R^2) = 0,914$$

Para o milho:

$$P = -5,045 + 2,120(Q) + 5,349(L) - 0,230(MC) + 0,224(FM), \text{ com}$$

$$(R^2) = 0,863$$

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

ABRAMS, C.F.Jr. & FISH Jr., J.D. Airflow resistance characteristics of bulk piled sweet potatoes. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 25(4): 1103-6, 1982.

AGRAWAL, K.K. & CHAND, P. Pressure drop across fixed beds of rough rice. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 17(4): 560-3, 1974.

AKRITIDIS, C.B. & SIATRAS, A.J. Resistance of pumpkin seeds to airflow. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 22(6): 1414-6, 1979.

ARAUJO, L.G.de. Variação da perda de pressão, em camadas de grãos de soja (*Glycine max L.*), em função do teor de finos, da densidade de fluxo de ar e da espessura da camada. Viçosa, 1986. 65p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

BENEDETTI, B.C. Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos. Campinas, 1987. 125p. (Mestrado - FEA/UNICAMP).

BENEDETTI, B.C. & JORGE, J.T. Influência da variação do teor de umidade sobre os pesos específicos, aparente e real, e a porosidade de vários grãos. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 11: 07-16, 1987.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Regras para análise de sementes. Brasília, DNPV/DISEM, 1976. 188p.

CESA - COMPANHIA ESTADUAL DE SILOS E ARMAZENS. Beneficamento e armazenamento de grãos. Porto Alegre, 1982. 104p.

- CHUMA, Y.; UCHIDA, S.; SHESANGA, K.H.H. Airflow resistance through a packed bed of selected grains. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, Fukuoka*, 27(3/4): 115-25, 1983.
- COOPER, S.C. & SUMMER, H.R. Airflow resistance of selected biomass material. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 28(4): 1309-12, 1985.
- FARMER, G.S.; BRUSEWITZ, G.H.; WHITNEY, R.W. Resistance to airflow of bluestem grass seed. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, ( ): 480-3, 1981.
- GRAMA, S. N.; BERN, C. J.; HURBURGH Jr., C .R. Airflow resistance of mixtures of shelled corn and fines. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 27(1): 268-72, 1984.
- GUNASEKARAN, S. & JACKSON, C.Y. Resistance to airflow of grain sorghum. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 31(4): 1237-40, 1988.
- GUNASEKARAN, S.; JINDAL, V.K.; SHOVE, G.C. Resistance to airflow of paddy (rough rice) in shallow depths. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 26(2): 601-5, 1983.
- HALL, W.H.; BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W. Drying cereal grains. *Wesport, AVI*, 1974. 88p.
- HAQUE, E.; AHMED, Y.N.; DEYOCE, C.W. Static pressure drops in a fixed bed of grain as affected by grain moisture content. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 25(4): 1095-8, 1982.
- HENDERSON, S.M. Resistance of shelled corn and bin walls to airflow. *Agricultural Engineering, St. Joseph*, 24(6): 367-9, 1943.
- HENDERSON, S.M. Resistance of soybeans and oats to airflow. *Agricultural Engineering, St. Joseph*, 25(4): 127-8, 1944.
- HENDERSON, S.M. & PERRY, M.E.R.L. *Agricultural process engineering*. 3 ed. *Wesport, AVI*, 1982. 442p.

- HUKILL, W.V. & IVES, N.C. Radial air flow resistance of grain. *Agricultural Engineering, St. Joseph*, 36(5): 332-
- HUKILL, W.V. & SHEDD, C.K. Nonlinear air flow in grain drying. *Agricultural Engineering, St. Joseph*, 36(5): 362-5, 1955b.
- HUSAIN, A.; OJHA, T.P. Resistance to the passage of air through rough rice. *Journal Agricultural Engineering Research, London*, 14(1): 47-53. 1969.
- JAYAS, D.S.; ALAGUSUNDARAN, K.; IRVINE, D.A. Resistance to airflow through bulk flax seed as affected by moisture content, direction of airflow and foreign material. *Canadian Agricultural Engineering, Ottawa*, 32(2): 279-85, 1991a.
- JAYAS, D.S.; SOKHANSANG, S.; MOYSEY, B.C.; BARBER, E. M. Airflow resistance of Canola (rapeseed). *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 30(5): 1484-8, 1987.
- JAYAS, D.S.; SOKHANSANG, S.; SOSULSKI, F.W. Resistance of bulk canola seed to airflow in presence of foreign material. *Canadian Agricultural Engineering, Ottawa*, 33(1): 47-57, 1991b.
- LASSERAN, J.C. *Aeração de grãos. Viçosa, Centreinar*, 1981 31p. (Série Centreinar, 2).
- NELLIST, M.E. & REES, D.U.H. The resistance to airflow of dry & soaked vegetable seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research, London*, 14(4): 344-9, 1969.
- PATERSON, R.J.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; BICKERT, W.G. Static pressure airflow relations in packed beds of granular biological material such grain. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 14(1): 172-4, 1971.
- PATIL, B.G. & WARD, G.T. Resistance to airflow of oilseed rape. *Journal of Agricultural Engineering Research, London*, (5): 5-31, 1988.
- SHEDD, C.K. Some new data on resistance of grains to air flow. *Agricultural Engineering, St. Joseph*, 32(9): 493-5 1951.

- SHEDD, C.K. Resistance of grains and seeds to airflow. *Agricultural Engineering, St. Joseph*, 34(9): 616-9, 1953.
- SHELDON, W.H.; HALL, C.W.; WANG, J.K. Resistance of shelled corn and wheat to low air flows. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 3(2): 92-4, 1969.
- SIEBENMORGEM, T.J. & JINDAL, V.K. Airflow resistance of rough rice as affected by moisture content, fines concentration and bulk density. *Transactions of the ASAE, St. Joseph, Michigan*, 30(4): 1138-43, 1987.
- SILVA, L.O.N. Efeito da taxa de fluxo de ar, do teor de impureza na perda de carga, numa camada de grãos de arroz (*Oryza sativa*) com casca. Viçosa, 1988. 52p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- SOKHANSANJ, S.; FALACINSKI, A.A.; SOSULSKI, F.W.; JAYAS, D.S.; TANG, J. Resistance of bulb lentils to airflow. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 33(4): 1281-5, 1990.
- STEELE, J.L. Resistance of peanuts to airflow. *Transaction of the ASAE, St. Joseph*, 20(2): 573-7, 1974.
- STIRNIMAN, E.J.; BODRAR, G.P.; BATES, E.N. Tests on resistance to the passage of air through rough rice in a deep bin. *Agricultural Engineering, St. Joseph*, 5(12): 145-8, 1931.
- WILHELM, L.R.; TOMPKNS, F.D.; MULLINS, C.A. Airflow resistance and pea pods. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, 26(3): 946-9, 1983.
- YANG, X.; BERN, C.J.; HURBURGH Jr., C.R. Airflow resistance of cleanings removed from corn. *Transactions of The ASAE, St. Joseph*, 33(4): 1299-302, 1990.

LOSS OF PRESSURE OF GRAINS OF ROUGH RICE (*ORYZA SATIVA*, L.)  
AND MAIZE (*ZEA MAYS*) AS A FUNCTION OF MOISTURE CONTENT, LEVEL  
OF IMPURITY, DEEP BIN AND RATE OF AIR FLOW

**ABSTRACT**

The aim of the present work was study the factors influencing the loss of pressure in grains of rough rice (*Oryza sativa*, L.) and maize (*Zea mays*) submitted to a air flow. The effects of levels of impurity (0%, 5%, 10%, 15%), deep bin (0,5m; 1,0m; 1,5m; 2,0m), moisture content (115, 18%, 25%) and airflow rate ((0,5038m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>; 3,082m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>; 5,534m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>; 10,241m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>).

The results indicated that for rough rice grains and maize, when the airflow, deep bin, levels impurity, was increased the loss of pressure was enhanced. However, as the moisture content in samples increased there was a reduction in the loss of pressure.

It was also observed that when both products were compared, the losses of pressure for rough rice were higher than for maize.

Applying a multivariate regression analysis allowed to determine the models describing the behaviour of the rough rice grains and maize. Beign:

For rough rice:

$$P = -4,366 + 2,632(Q) + 5,918(L) - 0,247(MC) + 0,139(FM)$$

For maize: (R<sup>2</sup>) = 0,914

$$P = -5,045 + 2,120(Q) + 5,349(L) - 0,230(MC) + 0,224(FM)$$

$$(R^2) = 0,863$$