

# CONIC-SEMESP

## 13º Congresso Nacional de Iniciação Científica

Anais do Conic-Semesp. Volume 1, 2013 - Faculdade Anhanguera de Campinas - Unidade 3. ISSN 2357-8904

**TÍTULO:** ESTUDO DA PERDA DE CARGA EM UMA UNIDADE PILOTO DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO EM FASE DILUÍDA

**CATEGORIA:** CONCLUÍDO

**ÁREA:** ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS

**SUBÁREA:** ENGENHARIAS

**INSTITUIÇÃO:** UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

**AUTOR(ES):** DANIELLA VIEIRA DE SOUZA, ANA VIRGÍNIA ALMEIDA DE FRANÇA, FLÁVIA CRISTINA FRANCO LOPES, LIVIA COSTA

**ORIENTADOR(ES):** DEOVALDO DE MORAES JUNIOR, KARINA TAMIÃO DE CAMPOS ROSENO, MARLENE SILVA DE MORAES

Realização:



Apoio:



## 1. RESUMO

O deslocamento de materiais particulados, em dutos, tendo o ar como fluido transportador, é denominado transporte pneumático. Esse tipo de transporte é frequentemente usado em diversas áreas da engenharia de processos como, química, farmacêutica e indústrias alimentícias. Apesar da ausência de dados do projeto para transporte de alguns sólidos como o milho, ele tem muitas vantagens sobre outros sistemas, como segurança, baixo custo de aquisição, operação e manutenção, perda insignificante de material, facilidade de automação, flexibilidade de modificação da direção de escoamento.

O objetivo geral do presente trabalho foi estudar as perdas de carga nos trechos horizontal, vertical e nas singularidades de uma unidade experimental de transporte pneumático, que opera em fase diluída. Como objetivo específico buscou-se construir as curvas de perda de carga em função da velocidade do ar, tendo como parâmetro as vazões de milho em dutos horizontal e vertical.

## 2. INTRODUÇÃO

O transporte pneumático caracteriza-se por ser um sistema eficaz e limpo, com pouca contaminação do meio ambiente e produto. É frequentemente operado em fase diluída na qual as partículas permanecem suspensas nos dutos com velocidade do ar em geral de 15 a 40 m/s com concentração normalmente inferior a 15 kg por kg de ar. Tem uso difundido em função de baixo custo de aquisição, operação e manutenção em relação aos transportadores de correia, canecas e helicoidal (SANTOS, 2009; MORAES, 2012).

Um dos maiores inconvenientes dessa operação unitária é o desgaste da parte inferior da tubulação. A velocidade superficial do gás, o diâmetro da partícula e da tubulação, o tipo e a forma da partícula influenciam o transporte pneumático. Como consequência desta complexidade, estes sistemas são baseados em correlações empíricas obtidas por meio de estudos experimentais para cada sólido, em geral em dutos de diâmetro reduzido sem dados da distribuição de partículas na seção transversal das unidades. A maioria das indústrias, que trabalham com sistema de transporte pneumático, mantém a máxima rotação do soprador, super dimensionando-o com desperdício de energia e desgaste dos sólidos e das singularidades, tais como curvas, joelhos e tês. Enquanto, uma velocidade de ar

muito baixa causa a formação de regiões de acúmulo progressivo de particulado, terminando por impedir a passagem de ar e, conseqüentemente, do próprio sólido. Velocidades baixas também podem gerar um arraste das partículas ao longo da parte inferior da tubulação, acarretando o desgaste do equipamento e sucessivas paradas da unidade de processo para eventuais substituições de linhas (SANTOS, 2009; MORAES, 2012).

### **3. OBJETIVOS**

O objetivo geral do presente trabalho foi estudar as perdas de carga nos trechos horizontal, vertical e singularidades de uma unidade experimental de transporte pneumático, que opera em fase diluída deslocando milho. Como objetivo específico visou-se construir as curvas de perda de carga em função da velocidade do ar, tendo como parâmetro as vazões de milho.

### **4. METODOLOGIA**

O presente estudo foi desenvolvido em uma unidade piloto de transporte pneumático (Figura 1), em fase diluída, projetada e construída no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília – UNISANTA.

A unidade consistiu basicamente de tubulações de acrílico com diâmetro interno de 117 mm. Os tubos apresentam conexões para anéis piezométricos que são utilizados nas medições de pressão. As tubulações são unidas por flanges confeccionadas de mesmo material com diâmetro interno de 117 mm. O fluxo de ar foi introduzido ao sistema por um ventilador centrífugo da marca VentiSilva de pás semi-abertas com rotor de diâmetro de 210 mm, duto de sucção com diâmetro de 217 mm e descarga com seção retangular 150 por 160 mm. O ventilador encontrava-se acoplado a um motor de corrente alternada da marca Weg, modelo 0996 EM17253 com rotação nominal de 3450 rpm, potência de 1 cv ( $\approx$  0,96 HP) e rendimento de 72,7 % onde foi adicionado dois rolamentos extras para manter o motor em balanço com carcaça móvel visando determinar a potência consumida. A variação da rotação do motor com a conseqüente alteração da velocidade do ar nos dutos foi realizada por um inversor de frequência da marca Mitsubishi Electric Corporation, modelo FR-A024-1 5K-UL, com 230 V 50 Hz / 230 V 60 Hz.

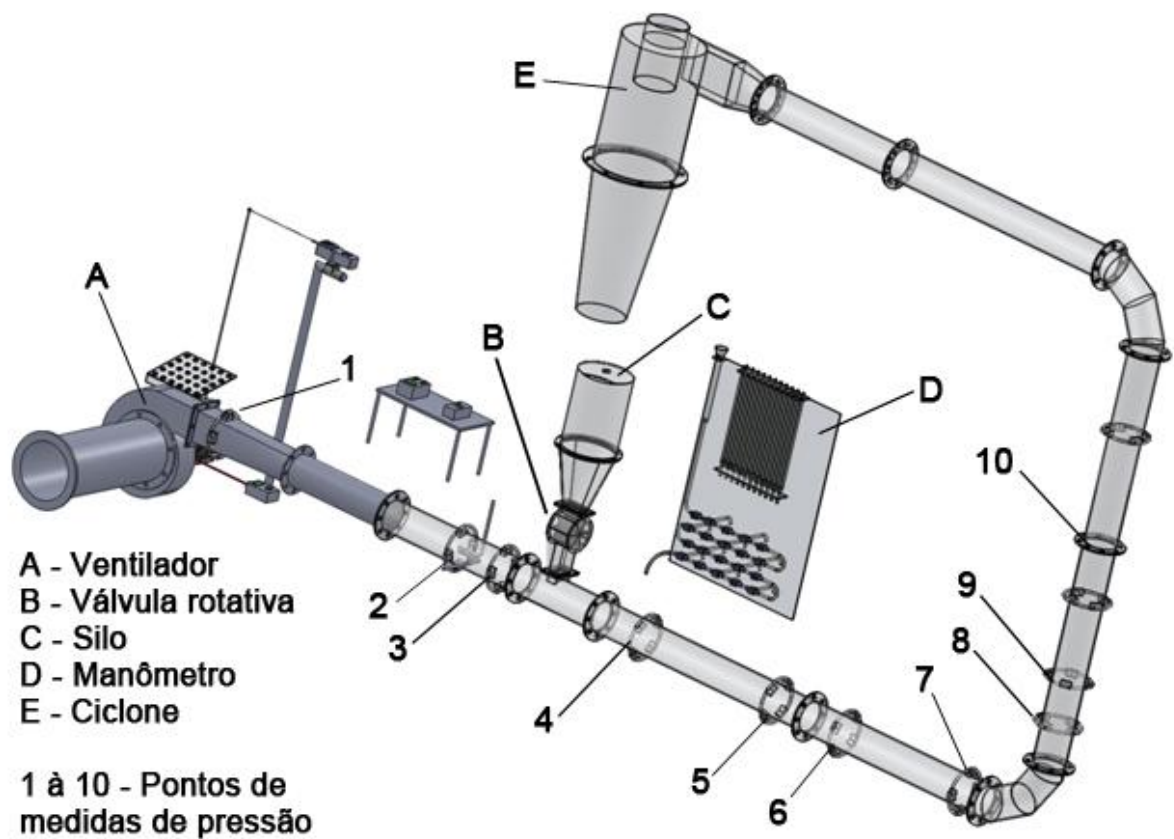


Figura 1 - Esquema da unidade piloto do transporte pneumático

Primeiramente foi determinada a vazão mássica de milho através da técnica de massa por unidade de tempo de acordo com o procedimento a seguir:

- 1) Adicionou-se uma massa de milho ao silo.
- 2) Desconectou-se o silo do sistema para calibração da vazão, e este foi colocado sobre um recipiente previamente tarado, apoiado sobre dois sarrafos de madeira.
- 3) Ligou-se a válvula rotativa em um dos 10 pontos indicados no potenciômetro. Dessa forma, a massa de milho coletada, em um determinado tempo medido por cronômetro, foi pesada obtendo-se a vazão mássica de sólido alimentado pela válvula. A Tabela 1 apresenta a vazão mássica do milho correspondente a cada um dos 10 pontos do potenciômetro.

Tabela 1 - Vazão de milho para cada ponto indicado equidistante no potenciômetro da válvula rotativa.

Ponto no Potenciômetro	Vazão mássica (kg/s)	Ponto no Potenciômetro	Vazão mássica (kg/s)
1	-	6	0,204
2	0,056	7	0,238
3	0,097	8	0,267
4	0,137	9	0,290
5	0,170	10	0,291

A velocidade do ar na descarga do soprador foi determinada com a utilização de um anemômetro instalado no centro da tubulação de sucção do ar, cujos valores medidos foram aplicados na equação (1) da continuidade obtendo-se então as velocidades na descarga. A Tabela 2 fornece para cada frequência medida no soprador as correspondentes velocidades de sucção e descarga.

$$v_s \cdot A_s = v_d \cdot A_d \quad (1)$$

Sendo:

$v_s$  a velocidade de sucção, em m/s

$A_s$  a área da seção transversal da tubulação de entrada, em m<sup>2</sup>

$v_d$  a velocidade de descarga, em m/s

$A_d$  a área da seção transversal da tubulação de descarga, em m<sup>2</sup>

Tabela 2 – Velocidades de sucção e descarga.

Frequência (Hz)	Velocidade de sucção (m/s)	Velocidade de descarga (m/s)
45	3,2	10,9
50	3,6	12,3
55	4,1	14,0
60	4,5	15,4

A leitura da pressão estática, para determinação da perda de carga, foi feita em um quadro com manômetros do tipo “U” ligados a anéis piezométricos ao longo

de 10 pontos do equipamento (Figura 1). A perda de carga foi calculada, em trechos da tubulação através da diferença de pressão resultante pela equação simplificada do Balanço de Energia Mecânica (Equação 2).

$$\frac{P_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g} + z_e + W = \frac{P_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} + z_s + \ell w_{e-s} \quad (2)$$

Sendo:

$P_e$  e  $P_s$  a pressão absoluta, em  $\text{kgf/m}^2$

$\gamma$  o peso específico do fluido, em  $\text{kgf/m}^3$

$v_e$  e  $v_s$  a velocidade, em  $\text{m/s}$

$g$  a aceleração da gravidade, em  $\text{m/s}^2$

$z_e$  e  $z_s$  o desnível ou altura em relação a um plano de referência, em  $\text{m}$

$W$  o trabalho de eixo, em  $\text{m}$

$\ell w_{e-s}$  a perda de carga do sistema entre os pontos analisados (entrada e saída), em  $\text{m}$

Adotando-se para os pontos em análise:

a) Velocidades iguais, pois o diâmetro é o mesmo:

$$v_e = v_s \text{ então } \frac{v_e^2}{2g} = \frac{v_s^2}{2g} = 0$$

b) Tubo horizontal:

$$z_e = z_s = 0$$

c) Trabalho de eixo é nulo entre os pontos analisados (entrada e saída) não havendo bomba ou turbina.

$$W = 0$$

A equação 2 toma a forma da equação 3.

$$\ell w_{e-s} = \frac{P_e}{\gamma} - \frac{P_s}{\gamma} \quad (3)$$

Após a determinação das vazões de milho e velocidades do ar (tabelas 1 e 2) foi realizado um ensaio sem vazão de sólido e construída a curva de perda de carga em função das velocidades de ar.

A seguir, para cada vazão de milho, 0,056 kg/s, 0,097 kg/s e 0,137 kg/s, foi verificada a perda de carga para as velocidades de ar correspondentes às frequências da tabela 2. Iniciou-se na frequência de 60 Hz e diminuiu-se até ocorrer o acúmulo de material na tubulação.

## **5. DESENVOLVIMENTO**

Os processos químicos e petroquímicos têm como finalidade transformar as matérias-primas em produtos comercializados. As etapas envolvidas durante este processamento consistem em uma série de operações unitárias que, em muitos casos, requerem o transporte de materiais particulados. Um dos métodos de deslocamento mais empregado atualmente é o transporte pneumático, que movimenta uma variedade de sólidos particulados, em geral de 0,1 mm até 10 mm com propriedades físicas e químicas diferentes (tamanho, forma, densidade, índice de fluidez, temperatura de ebulição e fusão). Tem como princípio conduzir os produtos dentro de uma tubulação na posição vertical, horizontal e inclinada, através de uma corrente de gás gerada por um ventilador, soprador ou compressor pela diferença de pressão. Em muitos casos, o fluido empregado é o ar atmosférico, em função do preço, da facilidade de manipulação e da não toxicidade. Os materiais mais comumente transportados por unidades pneumáticas são alimentícios como o milho, o arroz, o feijão, a aveia e o trigo; farmacêuticos; polímeros e sólidos diversos como as serragens, o algodão, o papel, o carvão, o negro de fumo, o coque, o cimento e a areia (MARCUS *et al.*, 1990).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho. A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, enquanto que o trigo é usado basicamente para consumo humano, o milho é mais versátil, aumentando o leque de aplicações desse cereal (DUARTE, 2013).

Dentro deste contexto, o estudo da perda de carga no transporte pneumático de milho tem grande importância no cenário nacional. A determinação das condições de transporte para este material particulado, de acordo com suas propriedades e particularidades é de suma importância para otimizar os custos de transporte.

## 6. RESULTADOS

A figura 2 apresenta as curvas de perda de carga, analisada do ponto 1 ao 10 da unidade de transporte pneumático, em função da velocidade de ar. Observa-se que quanto maior a velocidade do ar e maior a vazão de alimentação de milho, houve um aumento da perda de carga devido ao atrito de sólido nas paredes do equipamento. Verifica-se na figura 2 que para as vazões de sólido de 0,13 e 0,097 kg/s, com a diminuição da velocidade do ar de 16 m/s até 12 m/s as curvas passam por um ponto de mínima perda de carga e depois um novo aumento devido ao acúmulo de material na tubulação.

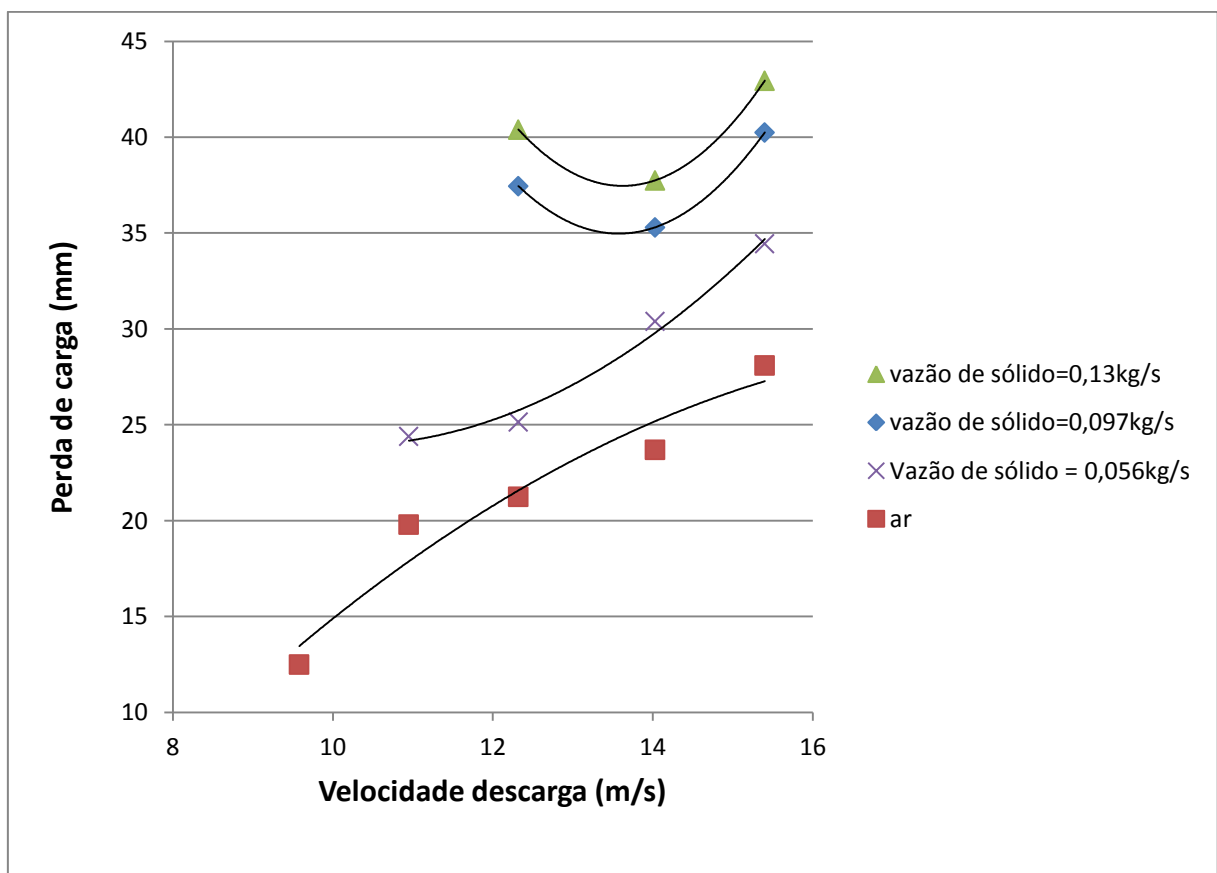


Figura 2 - Perda de carga entre os pontos de medida de pressão 1 e 10, da unidade piloto de transporte pneumático.



A figura 3 apresenta as curvas de perda de carga em função da velocidade de ar para os pontos de análise antes e após a alimentação de milho pela válvula rotativa (pontos 3 e 4, respectivamente). Observa-se na figura que maior a velocidade do ar, maior a perda de carga. No entanto, o comportamento das curvas não segue padrão dos dutos de quanto maior a vazão de sólido, maior a perda de carga. Isto pode ser explicado pelo fato do ponto analisado ser o local onde o sólido é alimentado e, portanto um ponto de turbulência provocada pela abertura da válvula rotativa e aceleração de sólidos.

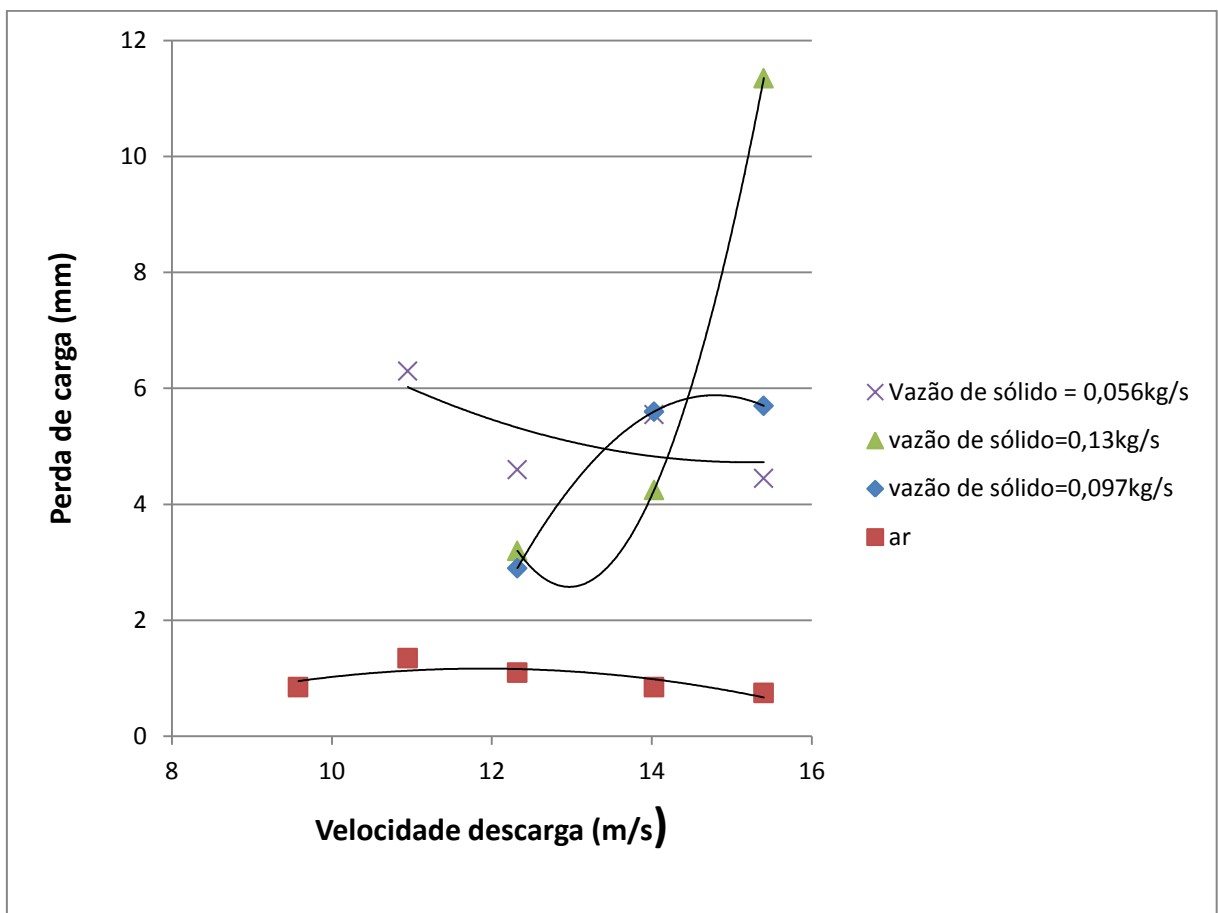


Figura 3 - Perda de carga entre os pontos de medida de pressão 3 e 4, da unidade piloto de transporte pneumático.

Os pontos 7 e 8 correspondem a análise da perda de carga de um trecho reto horizontal, passando por uma curva e um trecho reto vertical do transportador pneumático (figura 1), cujo comportamento das curvas de perda de carga em função da velocidade do ar são mostradas na figura 4. Observa-se que para maior vazão de

sólido em uma maior velocidade de ar é maior a perda de carga. Com a diminuição da velocidade do ar, a perda de carga atinge um ponto mínimo, e chega ao acúmulo de material na tubulação em menores velocidades de ar. A maior perda de carga em menores velocidades de ar pode ser explicada pelo grande acúmulo de milho na curva devido o trecho seguinte ser vertical, o que dificulta o deslocamento do particulado.

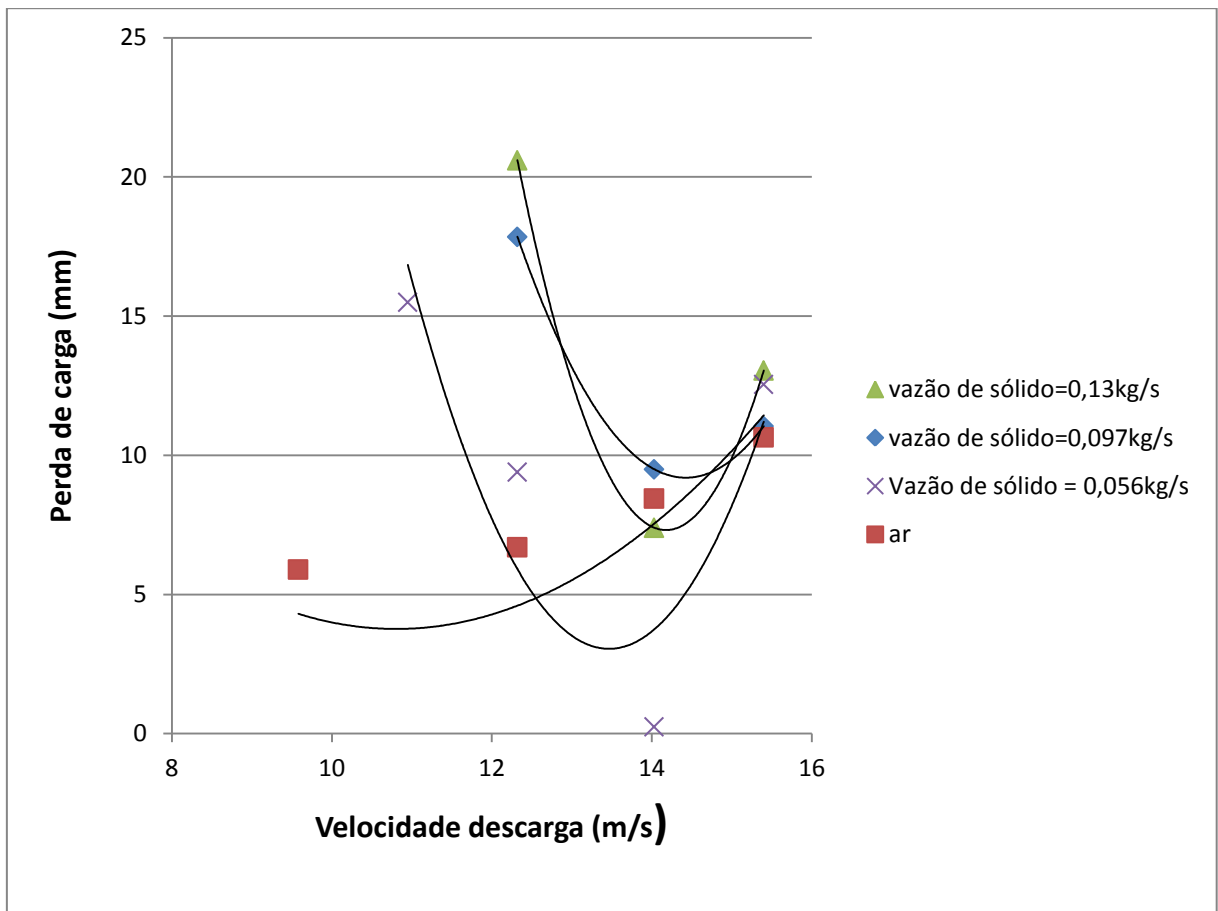


Figura 4 - Perda de carga entre os pontos de medida de pressão 7 e 8, da unidade piloto de transporte pneumático.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os roteiros de projeto disponíveis na literatura, de unidade de transporte pneumático em fase diluída adotam normalmente velocidades para cereais em grão independente da forma, tamanho e densidade. Recomenda-se para o projeto destas unidades a análise das curvas de perda de carga como as apresentadas no

presente texto, para se otimizar custos de operação evitando velocidades elevadas e desgaste na base dos dutos com velocidades baixas.

## **8. FONTES CONSULTADAS**

DUARTE, J.O; Introdução e Importância Econômica do Milho. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/importancia.htm>>. Acessado dia 6 de Maio de 2013.

MARCUS R. D., LEUNG L. S., KLINZING G. E., RIZK F. Pneumatic conveying of solids, London: Chapman and Hall, 1990, 455p.

MORAES, M.S; Tese de doutorado: Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas. UNICAMP, 2012.

SANTOS, S. M.; Tese de Doutorado: Projeto e montagem de unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída para estudo da distribuição de partículas granulares. UNICAMP, 2009