ISSN: 2594-6153

# Grãoduto - Transporte Pneumático de Soja para Longa Distância

Eduardo Lustoza; Aldo Ramos Santos, Áureo Emanuel Pasqualeto Figueiredo, Deovaldo de Moraes Junior, Marlene Silva de Moraes

Universidade santa Cecília, Santos, SP.

Email: lustoza@elusengenharia.com.br

**Resumo**: Este trabalho teve por objetivo a apresentação teórica de um corredor logístico para aplicação dos conceitos de transporte pneumático de sólidos para longa distância, sob regime combinado de fase densa e diluída, utilizando a soja como carga sólida. Início do trajeto na região de Paranapiacaba, região metropolitana de São Paulo, em uma plataforma logística direcionada ao Porto de Santos, traçado de 16 km. Considera-se, para esta simulação, que o fator de atrito para longa distância está atenuado pela rugosidade das paredes dos dutos, para que a soja transportada chegue ao seu destino final com índice de quebra aceitável comercialmente. Admite-se, como inovação, que a rugosidade da superfície interna dos tubos promoverá micro turbulência, reduzindo o coeficiente de atrito, resultando maior velocidade de escoamento. O sistema pode operar densidade de sólido de 1% em volume na fase diluída e densidade de até 30% em volume para a fase densa, criando uma nova opção de transporte de soja, reduzindo o fluxo de caminhões e trens em nossa região portuária.

**Palavras chave**: Transporte pneumático. Sistema Grão dutoviario. Friabilidade. Rugosidade. Coeficiente de atrito.

## Grain Duct - Pneumatic Soybean Transportation for Long Distance

**Abstract:** The objective of this work was the theoretical presentation of a logistic corridor for the application of the pneumatic transport of solids concepts for long distance, under a combined dense and diluted phase regime, using soy as a solid load. Start of the route in the region of Paranapiacaba, metropolitan region of São Paulo, in a logistics platform directed to the Port of Santos, traced of 16 km. It is considered, for this simulation, that the friction factor for long distance is attenuated by the roughness of the walls of the pipelines, so that the transported soybean reaches its final destination with commercially acceptable breaking index. It is accepted, as innovation, that the roughness of the inner surface of the pipes will promote micro turbulence, reducing the coefficient of friction, resulting in a higher flow velocity. The system can operate solid density with 1% by volume in the diluted phase and dense phase up to 30% by volume, creating a new soybean transportation option, reducing the flow of trucks and trains in our port region.

**Keywords**: Pneumatic transportation. Grain Pipeline System. Friability. Roughness. Coefficient of friction.

## Introdução

O Brasil ocupa o *ranking* de segundo maior produtor de soja do mundo com uma safra de mais de 95 milhões de toneladas repetidas em 2015 e 2016. Sendo assim um dos maiores fornecedores mundiais. Dentre os modais de transporte que podem contribuir com o descongestionamento das rodovias, deve ser considerado o escoamento dos grãos no interior de dutos por ventiladores ou sugadores ou ambos operando em conjunto, em função da

velocidade, do baixo custo de operação, baixo custo de mão de obra e reduzido impacto ambiental pela estanqueidade, Moraes M. 2012 [1].

O cenário de saturação do modal rodoviário, a limitação ferroviária e ausência hidroviária no Porto de Santos, potencializam em mais de 64% a dependência rodoviária, distorcendo a matriz de transporte, conduzindo a economia nacional ao maior custo logístico do planeta.

Estudos realizados em unidade piloto de transporte pneumático implementada na Universidade Santa Cecília em Santos, comprovam índices de danos à soja abaixo de 5% quando aplicado velocidade de 15,4 m/s, descrito por Moraes M. 2012 [1].

O transporte pneumático de soja tende a se tornar uma alternativa viável para transferir os caminhões e trens para as periferias dos centros urbanos, regiões menos densas, locais onde podem ser efetuados o descarregamento dos veículos a partir de novos terminais logísticos, com transporte direto para os porões dos navios em alta velocidade, sem interrupções de escoamento durante os períodos de chuva, aliviando o trânsito rodoferroviário no entorno dos complexos portuários nacionais. O escoamento na fase diluída ocorre com concentração de sólidos abaixo de 1% em volume, promovendo queda de pressão abaixo de 50 mm de coluna de água por metro e velocidade de gás em geral maior que 10 m/s. A fase densa opera com concentração de sólido acima de 30% em volume, queda de pressão acima de 200mm de coluna de água por metro e velocidade de gás em geral entre 1 e 5 m/s, técnica mais onerosa por utilizar sistema pressurizado, porém causa menos danos aos grãos, Moraes M 2012 [1].

Segundo RHODES 2004 [2], o transporte pneumático de sólidos pode ser usado para partículas que variam de pós finos aos grãos, contemplando granulometria entre 100 μ m e 10 mm respectivamente e densidades aparentes entre 16 e 3200 kg/m$^3$. Esta faixa de granulometria e densidade permitem antever que o transporte dutoviário para grão pode ser viabilizado tecnicamente, restando adequações aos parâmetros comerciais e à qualidade final da entrega dos produtos no ponto de destino. Especial atenção deve ser dedicada a prevenir a formação de atmosferas explosivas a partir de pós decorrentes de abrasão dos grãos em movimento, sendo necessários sistemas, dispositivos e medidas para captação de pós e dispositivos anti explosão, no contexto do *framework Security-Safety-Insurance* descrito por Figueiredo 2015 [3].

**Objetivo:** O presente trabalho teve por objetivo combinar as principais potencialidades técnicas do transporte pneumático de grãos, explorando as melhores características técnicas das fases densa e diluída. Utilizando a fase densa para cumprir o trecho de descida da serra

do mar, Figura 1, onde a contribuição da aceleração da gravidade é significativa e promoveria maior efeito sobre a carga sólida e consequente redução do custo com energia. Combinando as tecnologias e aproveitando as melhores características da fase diluída, haverá como resultante um menor fator de atrito para cumprir o trajeto no litoral, e o ganho de eficiência é fator de viabilidade operacional. Nestas condições, cria-se um corredor logístico inovador, alternativo, validação de uma nova tecnologia, essencial para um país vocacionado a produção de grãos.

## Material e Método

Considerando que o fator de atrito foi dado como resolvido pela rugosidade interna da tubulação, o sistema de transporte pneumático fica dependente ao dimensionamento dos sopradores e sugadores, cabendo a potência dos equipamentos a determinação da velocidade e vazão do escoamento. Na figura 1 cria-se a disposição do traçado do grão duto.

a) Trecho 1 – aclive 3% – pressão negativa – 5.000 m – Município de Santo André
b) Trecho 2 –declive 10% – pressão negativa – 8.000 m - Município de Cubatão
c) Trecho 3 – ligeiro aclive – pressão positiva – 3.000 m – Município de Cubatão




Figura 1 – traçado do corredor logístico.

**Resultados**:

Trabalhos realizados em unidade piloto na Universidade Santa Cecília demonstram que na fase diluída, Crispim M. 2014 [5], escoamento sob velocidade de 4,8 m/s alcançou vazão de 564 kg/h, resultado pouco satisfatório para aplicações comerciais portuárias, quando comparado com o sistema convencional de carregamento de navios. Significa que no trecho 3 a projeção de vazão seria pouco eficiente e exigirá outras simulações em Unidade Piloto, a exemplo da Tabela 1, sinalizando que as pesquisas no entorno do transporte

pneumático de sólidos continuarão a avançar, estimulada pelo cenário da necessidade de solução logística para as regiões portuárias.

| Pesquisa - Unidade Piloto | | | |
|---|---|---|---|
| Simulação - Parâmetros | Velocidade | Vazão | unidades |
| Simulação | 4,8 m/s | 564 | kg/h |
| fator de ampliação - proporcionalidade | 5 | 5 | 0 |
| capacidade diária de escoamento por duto | 24 m/s | 2820 | kg/dia |
| capacidade diária - t/dia | | 67,7 | t |
| operando com 10 dutos - t/dia | | 676 | t/dia |
| carregamento - navio - total de soja - toneladas | | 60.000 | t |
| tempo de carregamento do navio - dias de operação | | 89 | dias |
| operando com 3 porões simultâneos –> tempo de operação | | 29,6 | dias |

*Tabela 1 – Projeção de Vazão a partir de pesquisa em Unidade Piloto

Em termos práticos, um navio operado pelo sistema pneumático de sólidos, dimensionado pelo escoamento na fase diluída, menos eficaz em vazão, gastaria 29,6 dias para concluir o carregamento da soja.

Para o trecho 1 e 2 do trajeto, escoamento sob fase densa, pressão negativa, não há registros de pesquisas que possam determinar a eficiência do transporte em toneladas por hora e este tema passará a ser objeto de pesquisa, ciente de que neste regime o índice de danos ao produto é reduzido.

**Discussão**

A comparação entre o sistema rodoviário e dutoviário remetem a grande desvantagem do modal rodoviário pela saturação do sistema viário, pelo custo operacionais e pela emissão de GEE – Gases de Efeito Estufa – Figuras 3b.



Figura 3a - transporte dutoviário.



Figura 3b – transporte rodoviário.

Apesar da carência de dados para longas distancia, o escoamento na fase densa tem colhido resultados surpreendentes para pequenas distâncias, Figura 3a. A qualidade da soja na transição entre cada trecho do percurso também precisa ser validada em modelagem física em Unidade Piloto. Contudo há custos indiretos que irão beneficiar a viabilidade do transporte pneumático, a exemplo dos transtornos urbanos, saturação dos sistemas, impactos ambientais, riscos operacionais, gargalos logísticos, não ficando restrito a apenas a capacidade de escoamento nas fases densas e diluídas.

Minimizar os fluxos de caminhões e trens nos centros urbanos é premissa de projetos de engenharia de transporte e urbanismo, sendo mais uma característica reconhecida como vantagem competitiva do modal dutoviário pneumático. Significa um novo ordenamento para todas as capitais litorâneas no país. No caso específico do Porto de Santos consta acesso de caminhões de 2.558.166 caminhões (2017) em ambas as margens – Santos, Guarujá e Cubatão.

Esta pesquisa e estudos demonstra que o transporte pneumático de sólidos, e toda tecnologia orbitante, será uma solução para os grandes centros urbanos, reduzindo a dependência de caminhões e a emissão de gases de efeito estufa e os impactos dos custos logísticos no país.

## Considerações Finais

O transporte pneumático equilibra o melhor custo benefício em relação aos outros meios de transportes, considerando que não perde material para o meio ambiente, aliado à possibilidade de deslocar o material em diferentes inclinações e condições climáticas, não sendo interrompido o transporte em períodos de chuva. O retorno comercial e social elencados será validado através de novas pesquisas, podendo ser replicado o modelo para outros portos nacionais e internacionais, promovendo a distribuição de alimento de forma cada vez mais segura e barata.

## Referências Bibliográficas

1. MORAES, M.S.; Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas, Tese (Doutorado), Unicamp, Campinas, Março de 2012.
2. RHODES M. Transporte Pneumático de Partículas. UFRN, Rio Grande do Norte, 2004. www.ufrnet.ufm.br
3. FIGUEIREDO, A.E.P., Tese de doutorado, 2015 Automação Portuária e Segurança do Trabalho.
4. GOMIDE, R.; Operações unitárias. Operações com sistemas granulares. São Paulo, ed. do autor. 1983, v. 1.

5. CRISPIM, N., M., Mitigação De Impactos Ambientais com o Transporte Pneumático de Soja em Fase Diluída: Quantificação da Friabilidade e Perda de Carga, Santos, 2014.
6. TAVARES, A. V**.,** Transporte Pneumático de Soja em Fase Diluída
Obtenção da Perda de Carga e Distribuição de Partículas na Seção Transversal da Tubulação Horizontal, Santos, SP, Unisanta 2014.