

DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO UTILIZADO PARA TRANSPORTE DE SERRAGEM EM FÁBRICA DE COMPENSADO

José Armando Sousa Ribeiro Junior, j.armando.rib@gmail.com^{1,2}

Danilo Silva Santos, Daniloss@ufpa.br^{1,2}

Jessé Luís Padilha, jessepadilha@ufpa.br^{1,2}

André Luiz Amarante Mesquita, andream@ufpa.br^{1,2}

¹ Universidade Federal do Pará (UFPA), Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE), Tucuruí - Pará - Brasil

² Parque de Tecnologia do Lago de Tucuruí, TECNOLAGO, Tucuruí - Pará - Brasil

Resumo. O transporte pneumático pode ser definido como um método para transportar particulados através de um fluxo de ar com velocidade e pressão adequadas. O objetivo deste artigo é dimensionar o sistema de transporte pneumático de serragem em uma fábrica de compensado com o intuito de proporcionar melhorias ao transportador, o sistema transporta a serragem, resíduo das etapas de esquadrejamento e lixamento do compensado. Através de uma metodologia teórica, foi possível encontrar os critérios necessários para o sistema, que são: velocidade de transporte; diâmetro da tubulação, vazão, perda de carga e potência necessária para transportar o particulado. O sistema dimensionado teve uma grande diferença quando comparado com o sistema em funcionamento na fábrica, mostrando assim que existem vários pontos que podem ser melhorados, como uma redução no diâmetro da tubulação, e potência necessária para o funcionamento do transportador.

Palavras-chave: Transporte Pneumático. Dimensionamento. Serragem. Compensado. Transportador

Abstract. Pneumatic conveying can be defined as a method of conveying particulates through an air flow with adequate velocity and pressure. The purpose of this article is to dimension the sawdust pneumatic transport system in a plywood factory to provide improvements to the conveyor, the system transports the sawdust, residue from the squaring and sanding stages of the plywood. Through a theoretical methodology, it was possible to find the necessary criteria for the system, which are: transport speed; pipe diameter, flow, load loss and power required to transport the particulate. The sized system had a big difference when compared to the system in operation at the factory, thus showing that there are several points that can be improved, such as a possible reduction in pipe diameter, and power required for the operation of the conveyor.

Keywords: Pneumatic Transport. Sizing. Sawdust. Plywood. Carrier

1. INTRODUÇÃO

Na indústria existem várias tecnologias que promovem o transporte de material particulado, dentre elas, Cruz, (2013) cita que a utilização do ar para a movimentação de materiais sólidos apresenta vantagens em comparação com a movimentação mecânica (elevadores, transportadores helicoidais, telas transportadoras, etc.), pois oferece maior segurança ao produto, uma vez que o mesmo é transportado por meio de condutas, onde o ar como fluido possibilita o seu escoamento até o local pretendido, vantagens ao nível do desgaste e deterioração dos produtos a transportar e o caudal de transporte a alcançar são fatores decisivos na escolha desta tecnologia.

Um transportador pneumático exige alguns conhecimentos determinados para sua aplicação, como: pressão, velocidade e quantidade do fluxo de ar necessário para o arraste do material a ser transportado; a potência exigida; e as características físicas do material transportado, considerando-se que irão influenciar no desempenho do equipamento (Dickow, 2013).

A inspiração para esse trabalho surgiu do estudo de um sistema de transporte pneumático de uma pequena fábrica de compensado da cidade de Breu-Branco, no Pará Fig. (1). Nesta fábrica, o transporte pneumático é utilizado para movimentar a serragem residual dos processos de esquadrejamento e lixamento do compensado, o material é então reaproveitado servindo de combustível para a caldeira responsável pela alimentação do sistema de vapor d'água da fábrica. O uso do transportador se faz necessário pois segundo o INCA (2022), a serragem de madeira e sua capacidade de se depositar no trato respiratório tem sido associada a uma variedade de efeitos respiratórios alérgicos e não alérgicos como tosse seca, mal-estar, bronquite crônica, dispnéia, dor torácica, rinite, asma ocupacional, alveolites, déficit da função pulmonar, dermatites, conjuntivite, cefaleia. Também há associação entre exposição a poeira de madeira e câncer de cavidade nasal, seios paranasais, laringe, pulmão, estômago, cólon e reto, leucemia, linfomas e mieloma múltiplo. Portanto, um sistema que atue reduzindo a emissão deste particulado no ambiente de trabalho melhora de maneira significativa a qualidade de vida dos funcionários da fábrica.



Figura 1. Isométrico do sistema pneumático atual da fábrica (Autoria própria)

Os círculos da Fig (1) mostram os pontos de recolhimento da serragem, o círculo vermelho destaca o coletor da esquadrejadora, que se divide em 4 coletores individuais para as cerras, e o círculo azul mostra o coletor da lixadora.

Contudo, o sistema atual da fábrica conta com muitos erros de projeto e possibilidades de melhoria, como superdimensionamento das tubulações, curvas desnecessárias e/ ou mal dimensionadas, reduções e pontos de fuga de pressão Fig. (2). Tais circunstâncias causam déficits no desempenho do transportador e, em um aspecto geral, prejuízo para a fábrica. O dimensionamento atual conta com tubulações que variam em 8, 12 e 24 polegadas de diâmetro, valores que, ao serem comparados com os resultados deste trabalho, apontaram um superdimensionamento no sistema.

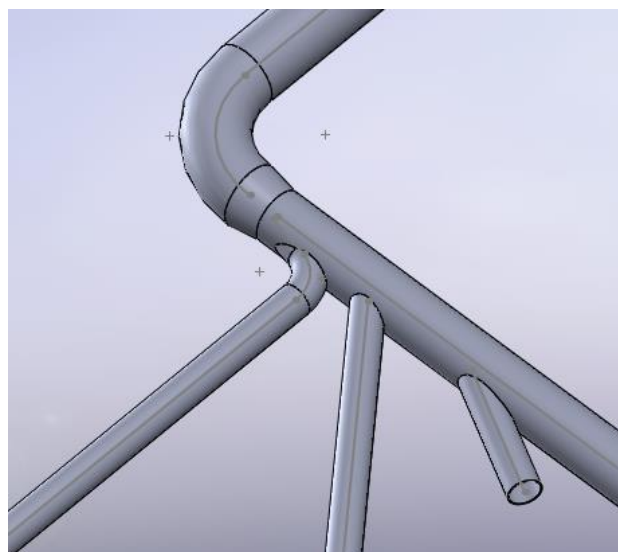


Figura 2. Exemplo de mal dimensionamento do transportador atual da fábrica (Autoria Própria)

Tendo em vista a importância do transportador e a possibilidade de melhoria, o intuito desse trabalho é dimensionar um sistema de transporte pneumático acurado para o ambiente desta fábrica. Utilizando a metodologia disponível na obra

de Gomide (1983), foram feitas as análises, estimativas e experimentos necessários para construir de maneira teórica esse novo sistema.

2. METODOLOGIA

Segundo Gomide (1983), o início do projeto de um transportador pneumático requer a especificação da capacidade de transporte C (t/h), massa específica aparente ρ (t/m³) e a granulometria D_p (mm) do material, bem como definir o layout do transportador, levando em consideração curvas, válvulas e equipamentos coletores. Após essa etapa, são determinados a velocidade de transporte; diâmetro da tubulação, vazão, perda de carga e potência necessários para transportar o particulado. Os processos foram divididos em dois subtópicos.

2.1. Obtenção das informações primárias

Para a metodologia de dimensionamento de Gomide (19983), os cálculos exigem alguns dados primários que devem ser obtidos ao analisar o material a ser transportado, tais dados são: densidade aparente (ρ), diâmetro do material (D_p) e a capacidade do sistema (C).

Para encontrar as dimensões das partículas de serragem, foi utilizada a norma NBR 6457/86, a qual diz que, para a avaliação da granulometria de um material, a quantidade de material seca para executar o peneiramento depende do maior diâmetro encontrado na amostra. Dessa forma, como as amostras de serragem coletada da esquadrejadora da fábrica apresentam particulados com diâmetro em torno de 4,75mm, foram necessários pelo menos 0,2kg de material seco para realização do ensaio. Após a pesagem da amostra de material, iniciou-se o peneiramento, o qual é feito por uma peneira elétrica Fig. 3, vibrando à uma amplitude de 1 mm durante 20 min para cada ensaio.



Figura 3. Peneira Vibratória (Autoria Própria)

Já para determinar a densidade foi utilizado um picnômetro, para assegurar a confiabilidade do procedimento, a densidade foi determinada em triplicata para obter boa reprodutibilidade. Para este ensaio foi usado um picnômetro de 50ml, a metodologia aplicada seguiu as instruções da norma DNER-ME 093/94, que encontra a densidade de um material ao comparar a sua massa com a de substâncias já conhecidas (Eq. 1), onde ρ_s = Densidade real do material à temperatura t do ensaio; P_1 = Peso do picnômetro vazio; P_2 = Peso do picnômetro mais amostra, em gramas; P_3 = Peso do picnômetro mais amostra mais água, em gramas; P_4 = Peso do picnômetro mais água, em gramas. Utilizando uma balança com sensibilidade de, pelo menos, 0,01g. Após encontrar a densidade relativa da serragem, foi realizada uma aproximação semiempírica utilizando a Eq. (2) encontrada na obra de Gomide (1983), onde ρ_s é a densidade real da partícula e ρ é a densidade aparente, ambos em t/m³.

$$\rho_s = \frac{P_2 - P_1}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (1)$$

$$\rho_s = 1,47\rho^{2/3} \quad (2)$$

A capacidade do sistema foi encontrada ao calcular o volume de serragem que passava pelo ciclone no final do ciclo no período de uma hora, e usando a densidade encontrada anteriormente, foi possível descobrir a massa que o sistema transporta neste período de tempo.

2.2. Dimensionamento do Sistema

Seguindo o Roteiro de Gomide (1983), o primeiro parâmetro calculado é a velocidade de transporte Eq. (3), neste roteiro, a velocidade é determinada levando em consideração a massa específica aparente (ρ) em t/m^3 do material particulado e o seu diâmetro (D_p) em mm. A fórmula teve origem na soma da velocidade de flutuação com a velocidade do material, e tem o seguinte formato:

$$V = 4,11 \sqrt[3]{\rho} \sqrt{D_p} + 23,4 \sqrt{\rho} \quad (3)$$

Após a determinação da velocidade, o próximo passo é determinar o diâmetro do transportador (D_t) em mm Eq. (4), que depende da capacidade do sistema (C) em t/h e da velocidade (V) em m/s.

$$D = 3016 \frac{\sqrt{C}}{V^{0,98}} \quad (4)$$

Após encontrar a velocidade e o diâmetro do transportador, a próxima etapa é calcular a perda de carga no sistema, entretanto, ainda é necessário encontrar alguns outros parâmetros, que são: O comprimento total do transportados (L_t) em metros Eq. (5), a vazão de ar (Q) em m^3/s Eq. (6) e a fração em peso do sólido transportado (X) em kg sólido / kg ar Eq. (7).

$$L_t = L_h + 2L_v + L_e \quad (5)$$

Onde: L_t = comprimento total (m); L_h = comprimento total dos trechos horizontais (m); L_v = comprimento total dos trechos verticais (m); L_e = comprimento equivalente das curvas (m). O valor de L_e é encontrado na Tab. 1, que relaciona o diâmetro do duto com o seu comprimento equivalente.

Tabela 1. relação do diâmetro do duto com o seu comprimento equivalente. (Gomide, 1983)

D (mm)	Le (m) R=2D	Le (m) R=3D
50	1,4	1,4
100	2,6	2,6
125	3,6	3,0
150	4,4	3,6
175	5,4	4,4
200	6,2	5,0
250	8,6	6,6
300	10,4	8,6
400	14	12,0

$$Q = \frac{V \cdot D^2}{1,27 \cdot 10^6} \quad (6)$$

$$X = \frac{C}{4,29 \cdot Q} \quad (7)$$

A perda de carga total (ΔP_t) Eq. (8) é a soma de todas as perdas por atrito, por aceleração e nos demais equipamentos do sistema, a fórmula é multiplicada por 10^{-4} para que o resultado seja em kg/cm^3 .

$$\Delta P_t = [1,68 \cdot L_t (X + 3,5) \frac{V^{1,8}}{D^{1,22}} + 0,138 \cdot \phi \cdot X \cdot V^2 + \Delta P_e] \cdot 10^{-4} \quad (8)$$

Onde: ϕ = fator de redução da perda de carga por aceleração; ΔP_e = perda de carga nos equipamentos (mm.c.a). O ΔP_e é obtido através da Tab. 2, que relaciona a perda de carga a equipamentos de coleta específicos. No caso deste sistema, se trata de um ciclone comum.

Tabela 2. Perda de carga nos equipamentos de coleta (Gomide, 1983)

Equipamento de coleta	Perda de carga (mm.c.a)
Câmara gravitacional	20 a 40
Ciclone comum	30 a 60
Ciclone de alta eficiência	70 a 150
Câmaras de impactação	40 a 100
Filtros de tecidos	80 a 150

A última característica necessária para o dimensionamento é a potência (P) Eq. (9) em hp requerida pelo sistema. A fórmula depende da perda de carga (ΔP_t) e da vazão (Q).

$$P_v = 131,51 \cdot Q \cdot \Delta P_t \quad (9)$$

Na fábrica que serviu de base para esse projeto, as partículas passam por dentro do ventilador responsável pelo transporte, portanto, Gomide (1983) comenta que a potência deve ter um acréscimo de 25% neste caso, por conta da aceleração das partículas pelas paletas do ventilador. O valor obtido deve ser dividido pelo rendimento do ventilador.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 4 mostra o resultado da granulometria, o gráfico em escala logarítmica apresenta o material acumulado em função da abertura da malha, o diâmetro da partícula utilizado para os cálculos foi o maior encontrado no experimento (9 mm), para que os cálculos sejam aplicáveis em todos os tamanhos das partículas.

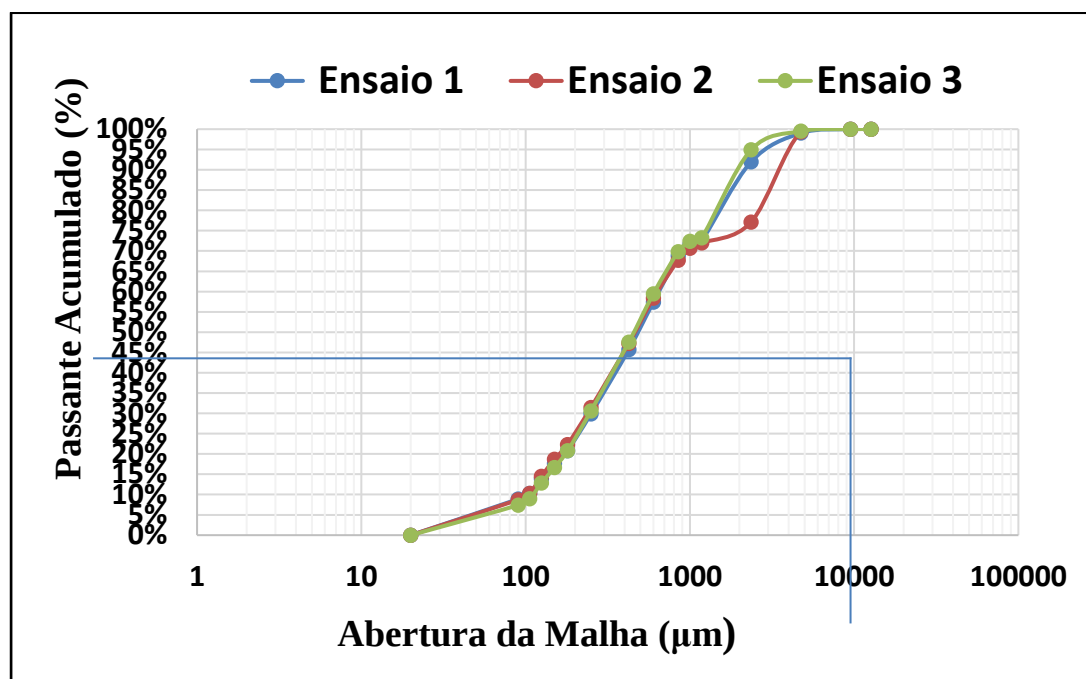


Figura 4. Gráfico do passante acumulado nas peneiras (Autoria Própria)

A Tab. 3 apresenta os resultados da picnometria, apresentando a massa do picnômetro, da água e a densidade.

Tabela 3. Informações e resultados para encontrar a densidade da serragem (Autoria Própria)

SERRAGEM DA MADEIRA		
Peso do Picnômetro (g)	38,76	
Picnômetro + água (g)	138,4	

Ensaio	E1	E2	E3
Material + PIC	43,98	44,28	44,65
Material (g)	5,22	5,52	5,89
Material + água + PIC (g)	139,32	139,24	139,14
Densidade (g/cm ³)	1,21	1,18	1,14
Média:	1,17666667		

Quanto aos resultados do dimensionamento, tais valores serão apresentados da Tab. (4). A eficiência utilizada no cálculo do motor foi da faixa IR3, que possui rendimento de 89,5% (RH, 2019). A potência final é representada por Pf.

O comprimento das tubulações do transportador já com as modificações necessárias foi de: Lh = 118,6 m; Lv = 19,5 m (o ponto de sucção da esquadrejadora possui 4 entradas); e o Le = 8,5 m. O valor da perda de carga dos equipamentos (ΔP_e) utilizada foi 60 mm.c.a.

Tabela 4. Resultados das estimativas das grandezas do transportador e da partícula (Autoria Própria)

Dp (mm)	ρ (t/m ³)	C (t/h)	V(m/s)	Lt (m)	D (mm)	Q (m ³ /s)	X (kg sol/kg ar)	ΔP_t (mm Ca)	Pf (hp)
9	0,71	0,35	30,71	166,1	62,20	0,0935	0,871	0,387	6,66

Com os resultados obtidos, é possível aplicá-los as condições de funcionamento da fábrica, comparando o transportador dimensionado neste projeto ao transportador que está atuante na fábrica, avalia-se que este sistema teria mais vantagens em relação ao outro, em primeiro lugar por conta da padronização do dimensionamento das tubulações, o que facilitaria manutenções e análises futuras. Em segundo lugar por conta do custo, já que uma tubulação menor significaria também um menor preço, este fato juntamente com a economia de um sistema devidamente dimensionado acarretariam uma redução nas despesas da empresa. O sistema teórico foi adaptado e seu layout foi esquematizado de uma maneira que reduza as perdas de carga, que acontecem muito no transportador atual da fábrica.

A Fig. 5 mostra um isométrico do transportador após serem incrementadas as melhorias.

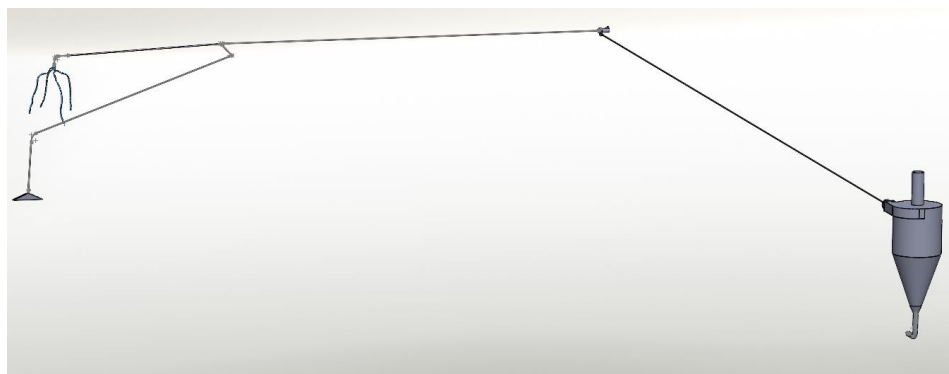


Figura 5. Transporte pneumático redimensionado (Autoria própria)

Percebe-se neste novo modelo que as dimensões da tubulação estão padronizadas e que foram retiradas as extensões que estavam sobrando no transportador, estas mudanças acarretam uma menor perda de carga, aumentando a eficiência do sistema.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho teve o intuito de proporcionar melhorias no sistema de transporte pneumático de uma fábrica de compensado, a metodologia teórica mostrou que existem vários aspectos que podem ser melhorados. Neste caso, o sistema atuante na fábrica apresenta um superdimensionamento e pontos com grande perda de carga. Este artigo mostra que um bom planejamento de projeto pode evitar gastos desnecessários, melhorar a qualidade de trabalho dos funcionários e melhorar os métodos de manutenção.

O principal benefício deste projeto foi a possibilidade de melhoria da eficiência na aspiração da serragem, tal mudança apresenta grandes melhorias no ambiente da fábrica, proporcionando menos riscos a saúde dos trabalhadores da fábrica.

Este trabalho pode ser usado como modelo para situações onde as fábricas e empresas pretendam melhorar ou construir sistemas pneumáticos do zero, minimizando os possíveis prejuízos nas operações.

5. REFERÊNCIAS

- Cruz, F.D.R., 2013. “Transporte Pneumático de Granulados em Fase Diluída” Dissertação de mestrado em engenharia mecânica, Instituto superior de engenharia de Coimbra.
- Dickow, S.R., 2013. “Dimensionamento de transportador pneumático para resíduos de cereais” Trabalho de conclusão de curso em engenharia mecânica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias.
- Gomide, R., 1924. “Operações Unitárias: Operações com sistemas sólidos granulares” 1ª edição, p 164-181. São Paulo, Brasil.
- INCA, Instituto Nacional de Câncer, 2022. “Poeira de Madeira: Informações sobre a exposição ao pó de madeira no trabalho e no meio ambiente, os principais efeitos à saúde e medidas de controle” 30 Dez, 2022 <[Poeira de madeira — Português \(Brasil\) \(www.gov.br\)](https://www.gov.br/inca/pt-br/publicacoes/2022/12/poeira-de-madeira)>
- NBR 6457/86, 1986. “Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização” 10 Dez, 2022.
- RH, Materiais elétricos, 2019. “Motor elétrico IR3: Mais eficiência e economia de energia” 01 Jan, 2023. < [Motor Elétrico IR3: Mais Eficiência e Economia de Energia - Blog da RH \(rhmateriaiseletricos.com.br\)](https://rhmateriaiseletricos.com.br/)>

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.