



MANUSEIO DE GRÃOS

Juarez de Sousa e Silva
Adílio Flauzino de Lacerda Filho
Roberta Martins Nogueira
Gilmar Vieira

1. INTRODUÇÃO

O sistema de movimentação ou manuseio de grãos tem grande importância em uma unidade armazenadora. Pesquisas mostram que os danos mecânicos causados aos produtos, tanto em intensidade quanto no ponto onde o grão recebe o impacto, ocorrem devido ao uso inadequado dos equipamentos ou de equipamentos inapropriados para a movimentação do produto. SHREEKANT et al (2002) encontraram que os danos em semente de soja aumentaram em 2,9, em média, durante o transporte em elevador de canecas antes de cair na máquina de limpeza e lotes de sementes com teor de água a 10,7 b.u sofreram menos danos do que as sementes com menores teores de água. Em UBS modernas, os elevadores de caneco ou caçambas com correia vem sendo substituídos por elevadores de corrente com caçambas com o intuito de diminuir a quantidade de danos.

Pesquisas mostram que a alta velocidade de movimentação, associada ao baixo teor de umidade do produto, constitui a principal causa de danos mecânicos em sementes. Assim, torna-se importante conhecer o princípio do funcionamento de cada equipamento para se obter melhor qualidade, diminuir o consumo de energia, evitar o desgaste nos componentes das máquinas, diminuir o tempo de operação e o gasto com a mão-de-obra e, ainda, garantir menor possibilidade de misturar o produto manuseado. Este último fator é de fundamental importância para quem trabalha com produção de sementes.

2. TIPOS DE TRANSPORTADORES

A racionalização do transporte de grãos e sementes para a movimentação interna em uma unidade armazenadora é um dos fatores que contribui para a redução dos custos operacionais e, se os transportadores forem adequadamente selecionados, contribuem

para a manutenção da qualidade do produto. O movimento de produto durante o processamento e armazenagem pode ser classificado em três grupos: transportes verticais, horizontais e por deslizamento; neste capítulo serão mencionados somente os transportadores mais utilizados em unidades armazenadoras e em fábricas de ração.

Serão destacados os seguintes equipamentos:

- a) Transportador helicoidal (rosca-sem-fim).;
- b) Elevador de caçambas.
- c) Fita transportadora.
- d) Transportador pneumático.

2.1. Transportador Helicoidal ou Rosca Sem-Fim

É um equipamento simples e muito utilizado para fazer a movimentação de materiais granulares e farelos. Basicamente, consiste de um helicóide com movimento rotativo e de um condutor estacionário (tubo ou calha). O transporte é realizado quando o material, colocado em uma abertura de recebimento do condutor fixo, é deslocado ao longo do helicóide por seu movimento de rotação.

Registros de descarga podem ser colocados em diferentes posições ao longo do transportador. Os transportadores helicoidais podem ser também utilizados para misturar diferentes materiais durante o transporte. São equipamentos compactos e de fácil instalação em locais congestionados. É normalmente montado na posição horizontal, podendo, entretanto, operar com qualquer inclinação.

Basicamente, um transportador helicoidal é composto pelos seguintes elementos :

- helicóide;
- condutor;
- polia motora;
- suporte; e
- extremidades.

A Figura 1 mostra a configuração geral de um transportador helicoidal e as dimensões importantes para o cálculo da capacidade e da potência necessária para realizar o transporte do produto.

Nos equipamentos pequenos, portáteis ou montados sobre rodas e que apresentam múltiplas funções de transporte em uma unidade armazenadora, a parte exposta ou extremidade de carga do transportador helicoidal pode não ser apoiada em mancais. Para os transportadores de grandes dimensões ou que trabalham em uma posição fixa, as extremidades tanto de carga como de descarga devem ser apoiadas em mancais com rolamentos blindados. No caso de o transportador apresentar grande comprimento, o helicóide deve ser apoiado em um ou mais mancais intermediários, que geralmente estão distanciados em 10 m.

As dimensões características de um helicóide e que são apresentadas na Figura 1, são:

- a) **Passo (P)**: é a distância compreendida entre duas cristas consecutivas medidas paralelamente ao eixo do parafuso. No helicóide-padrão, o passo

tem a mesma dimensão do diâmetro do helicóide. No caso de parafusos dosadores em que há necessidade de uniformidade no fluxo do produto, a dimensão do passo pode ser de 1/3 a 1/2 menor que o diâmetro do helicóide.

- b) **Diâmetros:** em um transportador helicoidal são considerados os diâmetros do helicóide (C) e do eixo do helicóide (e). O diâmetro do helicóide corresponde à distância vertical entre duas cristas consecutivas.

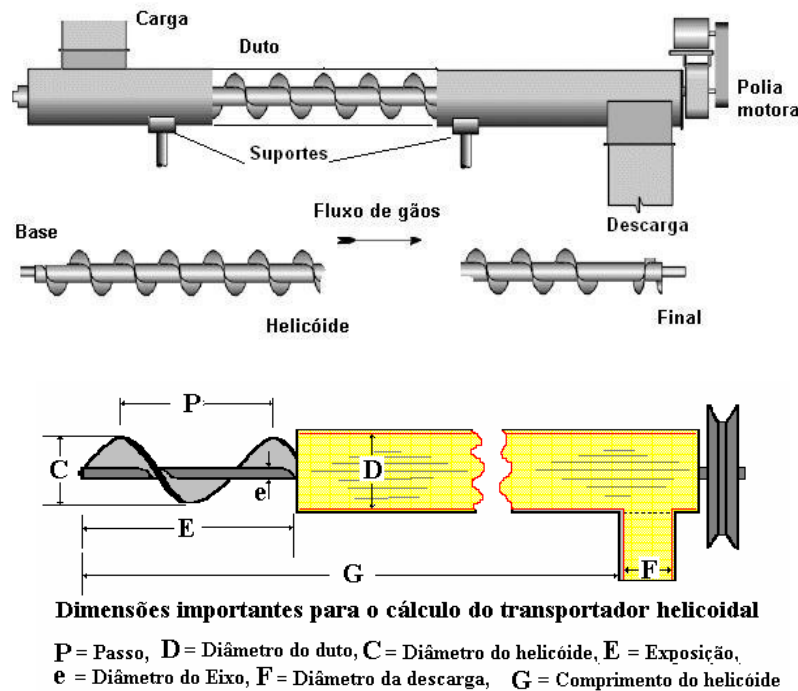


Figura 1 – Componentes e esquema básico de um transportador helicoidal.

2.1. 1. Tipos de helicóides

Dependendo do material a ser transportado e do trabalho a ser executado, haverá uma característica específica para o helicóide e para o condutor. A Figura 2 mostra os tipos de helicóides mais comuns utilizados para o transporte de produtos agrícolas.

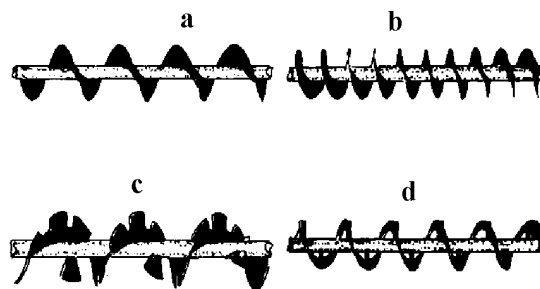


Figura 2 – Tipos de helicóides : a) padrão - para transporte horizontal, b) para transporte inclinado ou vertical (alimentação contínua), c) recortado - transportador misturador e d) fita - para produtos viscosos ou picado.

2.1.2. Condutores

Condutor é o componente do transportador que suporta o helicóide e contém o produto a ser transportado. Os condutores podem ser tubulares ou calhas em forma de "U", com ou sem tampa protetora (Figuras 1 e Figura 3).

As calhas são utilizadas para o transporte horizontal e podem tolerar inclinações de até 20°, sendo muito utilizadas para o transporte de produtos como rações e farinhas.

Os condutores cilíndricos, geralmente construídos em chapas metálicas, têm utilização bastante ampla, pois podem trabalhar em qualquer inclinação (entre o helicóide e o condutor deve existir um espaço variável de 1 a 10 mm).

A carga e a descarga podem ser feitas em qualquer ponto ao longo do transportador, indiferentemente do tipo de condutor. Normalmente, a transmissão é feita por correia e polias, no caso de equipamentos de menor capacidade e com caixa de redução, no caso de transportadores de maior capacidade.

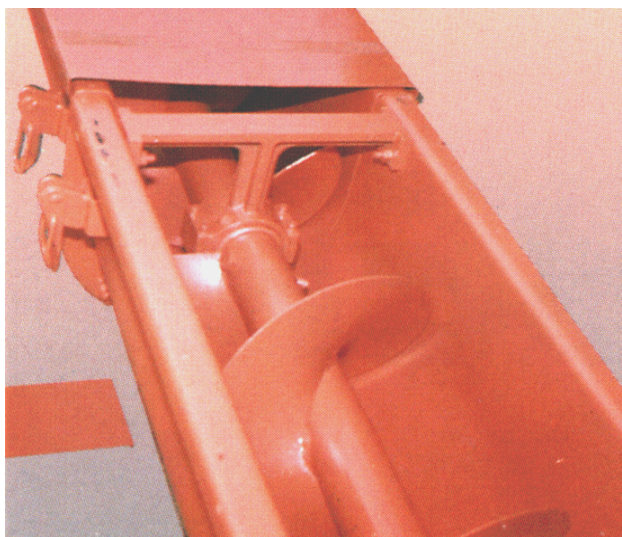


Figura 3 – Helicóide montado sobre calha aberta.

2.1.3. Dimensionamento do transportador

Consiste em estimar a capacidade do transportador e a potência necessária para a execução de determinados trabalhos. A capacidade é função do tipo de produto e da taxa de carga. A Figura 4 mostra os fatores de carga para diferentes características dos produtos.

A carga mínima de 45% destina-se a grãos ou material fino que não possui características abrasivas. A carga de 35% é adequada ao trabalho com materiais abrasivos, torrões e misturas de torrões com materiais finos. É também adequada para materiais fibrosos e polpas. Quando se trabalha com materiais pesados, abrasivos ou fibrosos, como o feno cortado e a areia, ela não deve ultrapassar 15%. Para condutores tubulares, como é o caso de grãos agrícolas, pode-se trabalhar até com 100% de carga.

A capacidade nominal de um transportador helicoidal trabalhando na posição horizontal pode ser estimada pela equação 1:

$$Q = 4,71 \times 10^{-5} (D^2 - d^2) \cdot p \cdot N \quad \text{eq.1}$$

em que

Q = capacidade de transporte, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;

D = diâmetro do helicóide, cm;

d = diâmetro do eixo do helicóide, cm;

p = passo do helicóide, cm; e

N = número de rotações do eixo do helicóide, rpm.

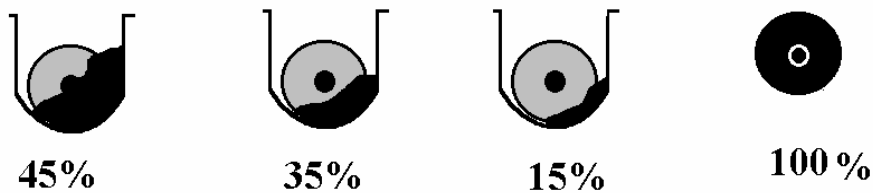


Figura 4 – Fatores de carga para os transportadores helicoidais

Como a capacidade do transportador é função do diâmetro (D) e da velocidade periférica do helicóide (N), o diâmetro máximo da partícula do material a ser transportado determinará o diâmetro mínimo do transportador. Assim, o tamanho, a consistência, a fluidez e a abrasividade do material limitam a velocidade máxima. A Tabela 1 fornece os valores de massa específica e fator de potência para o dimensionamento do transportador helicoidal, e a Tabela 2 relaciona as variáveis que influenciam a capacidade do transportador, para uma taxa de carga de 45%.

Relacionando as variáveis contidas nas Tabelas 1 e 2, obtém-se a máxima rotação admitida para um determinado produto e diâmetro do transportador (equação 2):

$$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \text{ req.} = (\text{ton} \cdot \text{h}^{-1}) / (\text{ton} \cdot \text{m}^{-3})$$

$$\text{rpm req.} = (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}) / (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{rpm}^{-1}) \quad \text{eq.2}$$

A potência requerida (equação 3) é função da capacidade, do comprimento, do tipo de apoio do helicóide e do material transportado.

$$P = 2,22 \times 10^{-4} (Q \cdot \text{Me} \cdot L \cdot \text{Fm}) \quad \text{eq.3}$$

em que

P = potência do requerida do transportador, cv;

Q = capacidade do transportador, $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$;

Me = massa específica do material, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

L = comprimento total do transportador, m; e

Fm = fator de potência (depende do material), adimensional.

TABELA 1 – Valores aproximados de massa específica e fator de potência para o dimensionamento de um transportador helicoidal

Produto	Massa específica (kg.m ⁻³)	Fator de potência (Fm)
Cevada	609	0,4
Soja	800	0,5
Milho	720	0,4
Aveia	416	0,4
Arroz	769	0,4
Trigo	770	0,4
Farelo	250	0,4

TABELA 2 – Relação entre as variáveis que influenciam a capacidade do helicóide para uma taxa de carga de 45%

Tamanho da partícula (mm)	Helicóide		Capacidade (m ³ .h ⁻¹)	
	Diâmetro (mm)	rpm máxima	rpm 1 (um)	rpm máxima
19	152	165	0,06	11
38	229	150	0,23	34
51	305	140	0,56	76
63	356	130	0,87	113
76	406	120	1,23	159
76	457	115	1,87	215
89	508	105	2,69	283
89	610	100	4,73	473

Nota: a capacidade decresce com o aumento do ângulo de inclinação em, aproximadamente, 30% para 15° e 55% para 25°.

Para assegurar o movimento com eventuais sobrecargas, quando a potência atinge valores inferiores a 5 cv, deve-se fazer um incremento na potência calculada, de acordo com a Tabela 3.

TABELA 3 – Fatores de correção para potência do transportador helicoidal

Potência (cv)	Fator de correção (Fc)
menor que 1,0	2,00
de 1,0 a 2,0	1,50
de 2,0 a 4,0	1,25
maior que 5,0	sem correção

Para a utilização de uma rosca transportadora, o usuário deve conhecer pelo menos os seguintes fatores:

- o fluxo de grãos ou a capacidade necessária; e
- as distâncias horizontais e verticais.

Necessita-se determinar:

- 1 - o ângulo de inclinação aproximado;
- 2 - o comprimento do transportador requerido;
- 3 - o número de rotações (rpm) da rosca;
- 4 - as dimensões do helicóide;
- 5 - o diâmetro da polia motora;
- 6 - o comprimento da parte exposta da rosca; e
- 7 - a potência necessária ao bom funcionamento do equipamento.

Os itens 1 e 2 podem ser obtidos segundo exemplo na Figura 5; o item 3, como na Figura 6; e os itens 3 a 7 podem ser determinados por tabelas, fórmulas e diagramas.

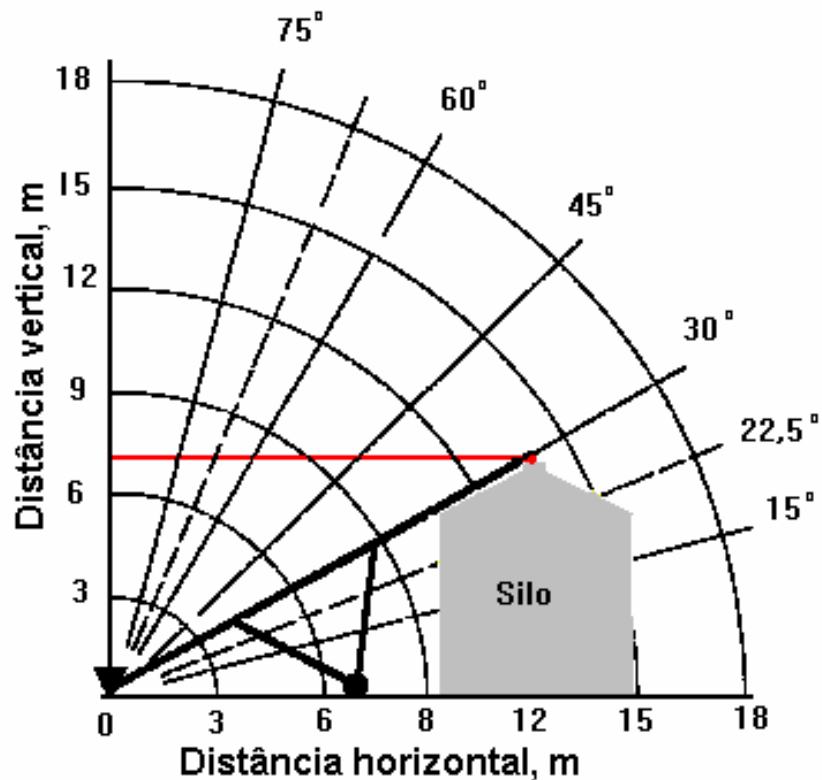


Figura 5 - Conversão de distâncias horizontais e verticais em ângulo de inclinação e distância inclinada.

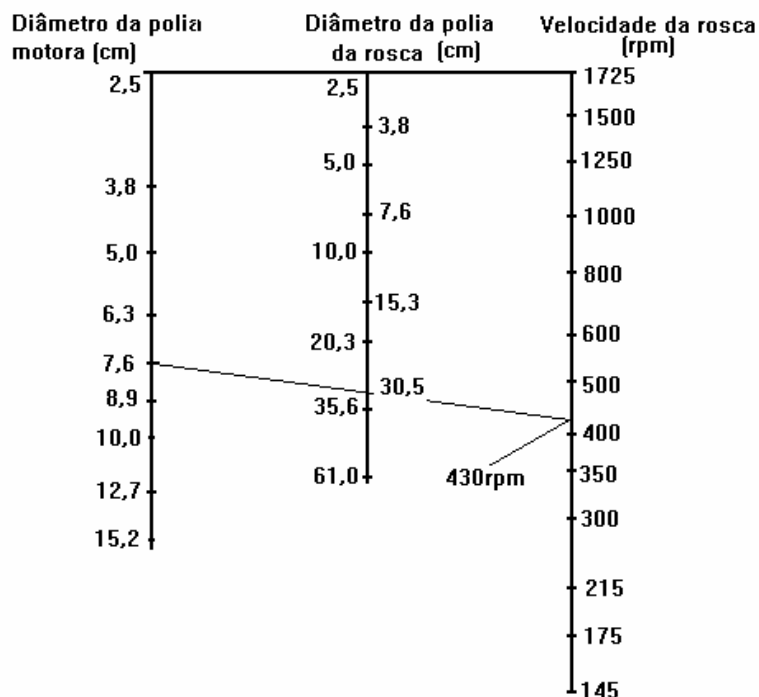


Figura 6 – Diagrama para cálculo da rotação do helicóide.

Na Tabela 4 são apresentadas a capacidade, a potência requerida (equação 3) e a potência nominal para diferentes tamanhos de helicóides-padrão (diâmetro = passo), para transporte horizontal de milho.

TABELA 4 - Capacidade (m³/h), potência requerida (cv) e nominal (cv) para transporte horizontal de milho com diferentes tamanhos de helicóides (diâmetro=passo)

Diâmetro (cm)	Característica	200 rpm			400 rpm			800 rpm		
		Comprimento (m)								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
12	Pot. Requerida. ¹	0,16	0,33	0,49	0,33	0,65	0,98	0,65	1,30	1,95
	Pot. Nominal ²	1/2	1/2	1/2	1/2	3/4	1	3/4	1 1/2	2
	Capac. ³	15	15	15	30	30	30	60	60	60
15	Pot. Requerida	0,33	0,65	0,98	0,65	1,30	1,95			
	Pot. Nom.	1/2	3/4	1	3/4	1 1/2	2			
	Capacidade	30	30	30	60	60	60			
20	Pot. Requerida	0,79	1,57	1,77						
	Pot. Nominal.	1	2	2						
	Capacidade	70	70	70						

Nota: para inclinações de 15° e 25°, a capacidade reduz entre 30 e 55%, respectivamente. 1. potência requerida; 2. potência nominal; 3. capacidade

2.1.4 - Exemplo

Estimar a capacidade e a potência requerida por um transportador helicoidal que opera na posição horizontal com 45% de carga, ao descarregar um secador. O transportador apresenta as seguintes características:

- passo = 0,35 m;
- diâmetro do helicóide = 0,36 m;
- diâmetro do eixo = 0,08 m;
- rotação = 113 rpm;
- comprimento do helicóide = 5,0 m; e
- massa específica do produto = 680 kg.m⁻³

Solução: a partir da equação 1 pode-se estimar a capacidade do transportador para operar com carga plena na horizontal:

$$Q = 4,71 \times 10^{-5} (36^2 - 8^2) 35 \times 113$$

$$Q = 229,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Como o regime de operação é com 45% da carga, Ter-se-á:

$$Q = 229,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \times 0,45 = 103 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

A potência necessária para o acionamento do transportador é dada pela equação 3:

$$P = 2,22 \times 10^{-4} \times (1,72 \times 680 \times 5 \times 0,4)$$

$$P = 0,50 \text{ cv}$$

Como a potência estimada é menor que 1,0 cv, deve-se aplicar o fator de correção de acordo com a Tabela 3:

$$P = 0,50 \times 2 = 1,0 \text{ cv.}$$

2.2. Elevador de Caçambas

É o transportador ideal para material granular. De maneira geral, trabalha na posição vertical ou com pequena inclinação em relação à vertical. Além de possibilitar o desalinhamento, a inclinação pode causar grandes dificuldades durante a operação do elevador. A Figura 7 mostra os componentes básicos de um elevador de caçambas que é composto de:

- cabeça;
- módulos ou corpo;
- pé ou base;
- correia ou corrente; e
- caçambas

O produto deve apresentar grau de fluidez que garanta a continuidade do fluxo a

cada passagem das caçambas (carga) e que elas permaneçam limpas após descarga. As caçambas ou canecas (Figuras 7 e 11) podem ser fabricadas em metal, plástico ou fibra de vidro. A característica do material a ser transportado exige formas distintas de caçambas, para evitar danos ao produto e aumentar o rendimento do transporte. Neste sistema, o produto é elevado a uma altura que possibilita sua distribuição por gravidade, por meio de dutos especiais. A carga das caçambas é feita na base, ou pé, e pode ocorrer em:

- posição posterior, do lado em que as caçambas estão descendo; e
- posição anterior, do lado que as caçambas estão subindo.

A carga pela posição anterior é preferível, porque nela produtos com pouca fluidez, como o café úmido e o arroz em casca, danificam menos o sistema de fixação das caçambas à correia e a própria caçamba.

2.2.1. Cabeça do elevador

É o componente no qual se faz a descarga do produto, que pode ser realizada pela ação da força centrífuga ou pela gravidade.

O dispositivo de descarga consta de um prolongamento da cabeça do elevador, cuja principal característica consiste em minimizar os danos ao produto, devido ao impacto durante a descarga.

No caso de transportadores de grande capacidade, a polia superior, que é responsável pela movimentação do sistema correia/caçambas, tem a superfície vulcanizada, a fim de minimizar o índice de patinação que ocorre principalmente no início do acionamento. Em geral, o acionamento é feito por um motor elétrico acoplado a uma caixa de redução. Nos elevadores de pequena capacidade, as polias são simples e o sistema redutor de velocidade é feito pelo conjugado polia/correia.

O freio de retrocesso é um componente da cabeça do elevador, que impede o retorno das caçambas, caso haja interrupção no fornecimento de energia elétrica. Com isso, evitam-se entupimentos e outros tipos de problemas. Nos transportadores de pequena capacidade, o freio mais utilizado é do tipo catraca. Para os elevadores de grande capacidade, podem ser utilizados os freios de fita metálica ou, ainda, os freios eletromagnéticos. A Figura 8 mostra a cabeça do elevador de caçambas, com detalhes de seus componentes.

2.2.2. Corpo

Geralmente é constituído de chapas metálicas com perfil retangular ou circular. É a estrutura que sustenta a cabeça do elevador e serve como condutor do sistema correia/caçambas. O corpo é composto de módulos com extremidades flangeadas, para permitir a união entre eles por meio de parafusos. Em um dos módulos existe uma abertura com tampa, destinada aos serviços de manutenção e reparos.

2.2.3. Pé ou Base

É construído em chapas metálicas e possui os seguintes componentes (Figura 9):

- polia inferior;
- esticador de correia;
- dispositivo de carga; e

- janelas de inspeção e limpeza.

A polia inferior tem a superfície de contato vazada (Figura 10), a fim de evitar o esmagamento e acúmulo de grãos entre a polia e a correia, o que poderia causar o desalinhamento do sistema e danos ao produto.

O esticador de correia é constituído por um sistema cujos mancais do eixo inferior são montados em um componente móvel. O deslocamento é feito pela ação sobre parafusos de " chamada", o que, além de esticar, permite também o alinhamento da correia.

O dispositivo de carga é responsável pelo direcionamento do produto nas caçambas. Como sua posição interfere na intensidade de impacto do produto durante a carga, influenciará diretamente o desempenho do transportador.

As janelas de visita são aberturas, em forma de gaveta, que permitem a limpeza dos restos de produtos ou impurezas remanescentes da operação anterior.

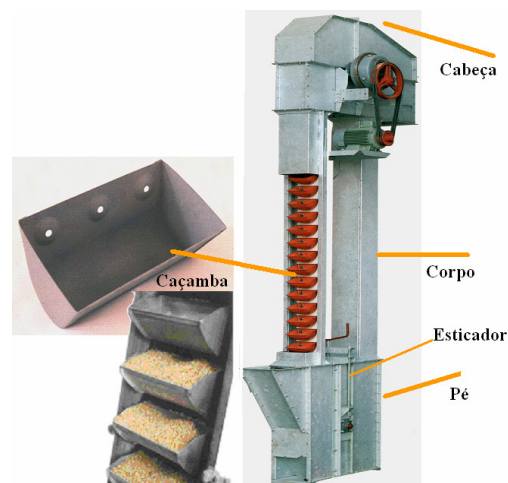


Figura 7 – Componentes de elevador de caçambas.

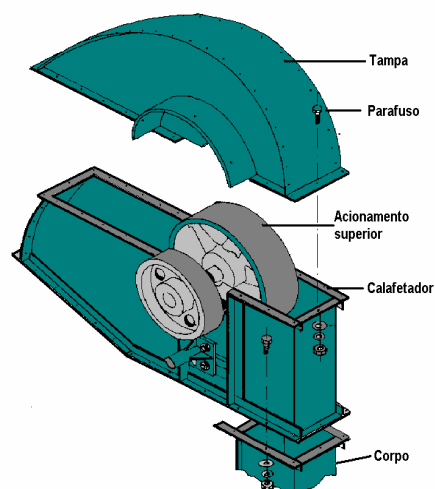


Figura 8 – Detalhes da cabeça de um transportador de caçambas.

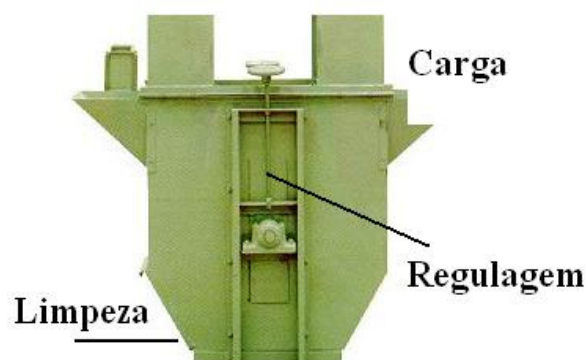


Figura 9 – Base ou pé do elevador.

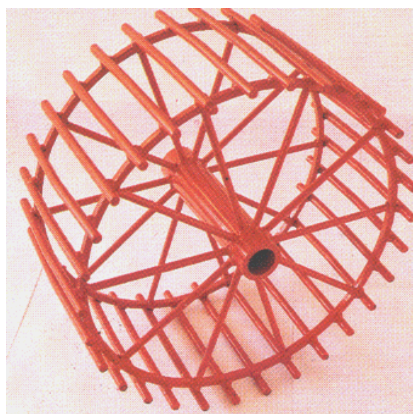


Figura 10 – Vista da polia inferior.

2.2.4. Correia / Corrente

Qualquer um destes elementos é satisfatório para compor a maioria dos elevadores que se destinam ao transporte de produtos agrícolas. A correia, entretanto, permite maior velocidade de operação, o que resultará em maior capacidade de transporte, mantendo-se as outras dimensões constantes. A característica do material de construção é um fator importante a ser considerado ao se optar pelo uso da correia, a qual deve resistir à tração, ter flexibilidade, resistir a trincas, absorver o mínimo de umidade e permitir perfeita fixação das caçambas.

Os elevadores equipados com correia permitem a descarga centrífuga ou por gravidade. A fim de evitar danos, é indicada a descarga por gravidade para o transporte de sementes.

A corrente apresenta uso simples, é durável, resistente e de baixo custo, quando comparada à correia. No entanto, exige baixa velocidade durante a operação de transporte e não deve ser utilizada em elevadores muito altos. Por trabalhar em baixa velocidade, normalmente os equipamentos com corrente possuem menores capacidades.

2.2.5. Caçambas

São recipientes fixados na correia ou corrente e recebem o produto no ponto de carga. Dependendo das características do produto a ser transportado e da capacidade do transportador, as caçambas terão desenhos, tamanhos e modo fixação diferentes.

O espaçamento entre as caçambas influencia a capacidade do elevador, e a distância entre elas é de aproximadamente duas vezes a sua largura. Nos elevadores com caçambas contínuas, forma-se uma sequência de quinze a vinte caçambas, e somente a inferior possui fundo. Esta disposição refere-se a elevadores de alta capacidade (Figura 11).

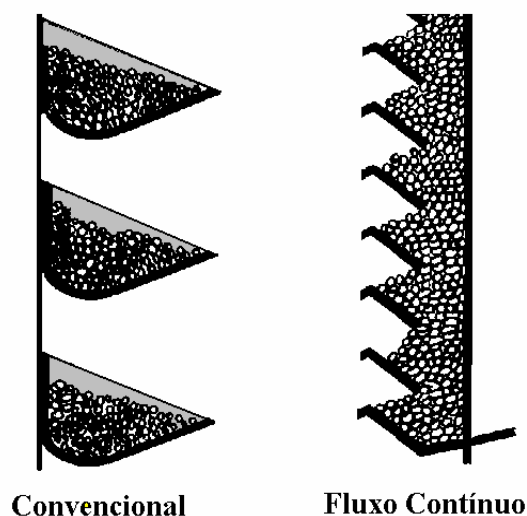


Figura 11 – Modos de distribuição de caçambas na correia do elevador.

2.2.6. Estimativa da Capacidade e da Potência

A capacidade e a potência para acionar elevadores de caçambas dependem do tipo de descarga. Produtos sujeitos a danos por impacto, que reduzem seu índice de germinação e seu vigor, podem ser descarregados por gravidade. Neste caso, a velocidade da correia não deve ultrapassar os 30 m.min⁻¹.

O equipamento com descarga centrífuga, utilizado no transporte de grãos comerciais, apresenta maior velocidade na correia e, conseqüentemente, maior capacidade de transporte. A rotação necessária para que ocorra a descarga por centrifugação pode ser obtida a partir da equação 4:

$$N = 30 / R^{1/2} \quad \text{eq.4}$$

em que

N = velocidade tangencial ou periférica da polia motora, rpm; e
R = raio efetivo da polia motora, m.

Raio efetivo é a distância entre o centro da polia e o centro geométrico da caçamba (Figura 12).

5. A velocidade linear das caçambas (v , m.min.⁻¹) pode ser calculada pela equação

$$v = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot N \quad \text{eq. 5}$$

A capacidade do transportador (Q , kg.min.⁻¹) é função da capacidade de cada caçamba, da velocidade e do número de caçambas por metro de correia. A equação 6 permite estimar a capacidade do transportador.

$$Q = v \cdot n \cdot q \quad \text{eq.6}$$

em que

q = capacidade de cada caçamba, kg de produto.caç.⁻¹; e

n = número de caçambas por metro de correia, caç.m.⁻¹.

Para calcular a potência exigida para o acionamento do elevador carregado, além da capacidade de transporte, deve-se considerar a altura a que o produto deve ser elevado (equação 7).

$$P = 2,22 \times 10^{-4} (Q \times H) \cdot Fa \quad \text{eq.7}$$

em que

P = potência requerida, cv;

H = altura de elevação do produto, m; e

Fa = fator de segurança (1,10 a 1,15).

A Tabela 5 apresenta as características mínimas de um elevador de caçambas para diferentes capacidades de transporte de milho.

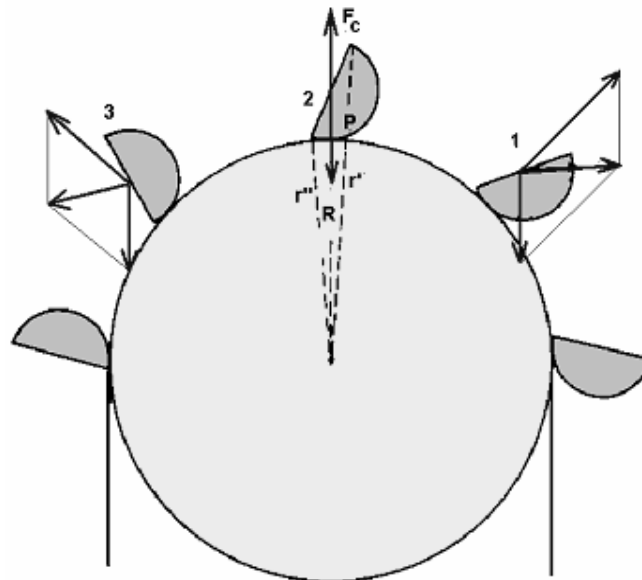


Figura 12 – Caracterização do raio efetivo e sistema de forças na polia motora.

TABELA 5 - Algumas características de elevadores de caçamba para diferentes capacidades e alturas de elevação

Cap. (t/h)	Caçambas por metro	Cap. Caçamba (g)	Altura (m)	Diâmetro polia (cm)	Largura Correia (cm)	Potência (cv)
10	3,5	430	10	30	15	0,5
			15			0,75
			20			1,0
20	4,5	580	10	40	22	1,0
			15			1,5
			20			2,0
30	5,0	800	10	40	22	1,5
			15			2,0
			20			2,5

2.2.7. Exemplo

Deseja-se elevar grãos de milho a uma altura de 20 m utilizando um transportador de caçambas cuja polia tem raio efetivo de 0,35 m (raio da polia de 0,30 m). Existem 211 caçambas com capacidade individual de 0,80 kg, fixadas na correia. Considerando que a descarga será feita por centrifugação e que a massa específica do milho é igual a 750 kg.m^{-3} , pede-se:

- estimativa da capacidade, em kg.min^{-1} e em $\text{m}^3.\text{min}^{-1}$; e
- estimativa da potência, em cv.

Solução:

- Pela equação 4 obtém-se a rotação na polia do transportador:

$$N = 30 / (0,35)^{1/2} = 50,71 \text{ rpm.}$$

A equação 5 fornece a menor velocidade da polia motora que permitirá a realização da descarga por centrifugação:

$$v = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,35 \cdot 50,71 = 111,5 \text{ m.min}^{-1}$$

O número de caçambas por metro pode ser obtido relacionando-se o comprimento da correia ao número total de caçambas.

O comprimento da correia é obtido a partir da soma dos dois ramos da correia correspondentes à distância entre os eixos do transportador mais o perímetro de uma das polias, conforme a equação 8:

$$L = R_a + R_d + (2 \cdot \pi \cdot r) \quad \text{eq.8}$$

em que

L = comprimento total da correia, m;

R_a = comprimento do ramo ascendente da correia, m;

Rd = comprimento do ramo descendente da correia, m; e
r = raio da polia, m.

Quando os valores de Ra e Rd são iguais, correspondem à altura de elevação do produto. Assim:

$$L = 20 + 20 + (2 \cdot 3,14 \cdot 0,3) = 41,90 \text{ m}$$

Sendo o número total de caçambas igual a 211, Ter-se-á:
 $n = 211/41,9 = 5$ caçambas por metro de correia.

A capacidade do transportador será (equação 6):

$$Q = 111,5 \cdot 5 \cdot 0,8 = 446 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1} = 0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

b) A potência obtida a partir da equação 7 fornece:

$$P = 2,22 \cdot 10^{-4} \cdot (446 \cdot 20) \cdot 1,15 = 2,5 \text{ cv.}$$

2.3. Fita Transportadora

Equipamento de alta eficiência mecânica em que os danos por atrito ou impacto só ocorrem, eventualmente, durante a carga ou na descarga. A correia é composta de uma polia motora, uma polia-guia com esticador, roletes ou plataforma de deslizamento, chassis ou estrutura de suporte e sistemas para carga e descarga. De instalação e operação simples, é usada para transportes leves (frutas) ou mais pesados (grãos, brita, minerais, etc.). Um transportador de correia pode operar em altas velocidades e transportar produtos a longas distâncias, mas o limite de sua inclinação para o transporte de produtos agrícolas é de 15°. Tem custo inicial e vida útil maiores que de outros tipos de transportadores.

As Figuras 13 e 14 mostram detalhes de um transportador de correia.

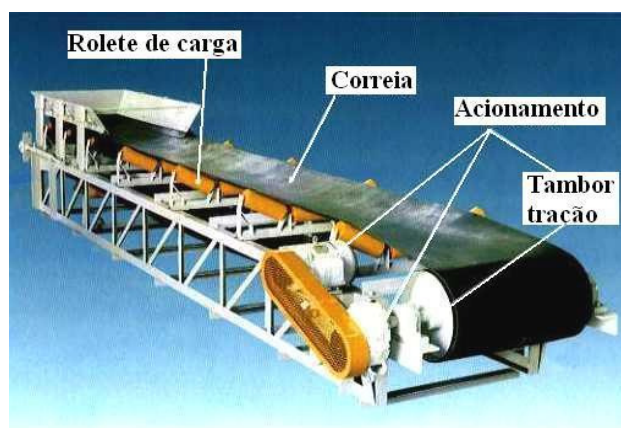


Figura 13 - Fita transportadora de materiais granulados.

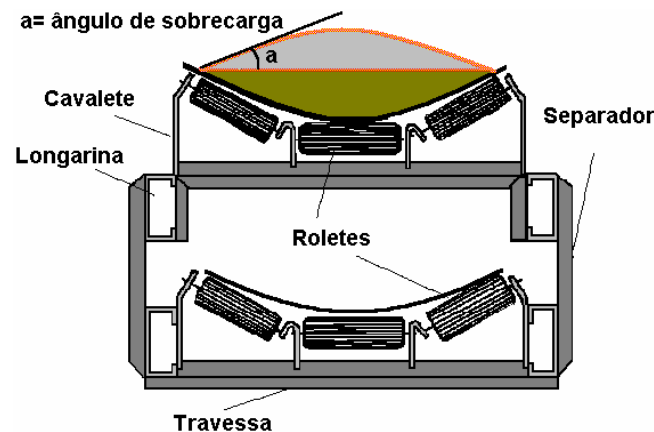


Figura 14 – Corte transversal de uma correia transportadora do tipo reversível ou dupla.

As principais características mecânicas que a correia transportadora deve possuir são:

- a) **Flexibilidade:** deve-se adaptar a qualquer diâmetro de polia sem se tornar quebradiça, o que poderia reduzir sua vida útil.
- b) **Resistência à tensão:** deve ser resistente a este esforço, visto que, está sempre sujeita a este tipo de deformação.
- c) **Resistência à corrosão:** o revestimento da correia deve ser resistente à corrosão, pois, em muitos casos, o produto pode receber tratamentos químicos por meio de equipamentos instalados sobre a correia para o controle de insetos. A resistência à abrasão é uma característica importante, principalmente para o transporte de arroz.

O sistema de acionamento da correia é instalado no ponto de descarga, e a polia motora deve ter um diâmetro que permita o máximo de contato com a correia. Em muitos casos, é necessário um número maior de polias não apenas para ajudar no esticamento, mas também para solucionar os problemas devidos à contração e expansão da correia provenientes de variações climáticas do ambiente. O ajustamento ou esticamento de uma correia pode ser feito por meio de parafusos de "chamada", instalados no suporte da fita, por meio de polias livres no ramo de retorno ou por contra-peso no eixo da polia secundária (mais usados em correias de grande capacidade).

Nos transportadores de correia, a carga pode ser feita em um ponto fixo por meio de uma peça metálica de configuração geométrica afunilada ou por meio de um componente móvel que permita o deslocamento para a carga ao longo de toda a correia. A descarga pode ser feita naturalmente, no extremo oposto à carga ou em qualquer ponto, por meio do "tripper", que consiste no arranjo de duas polias livres que dão à correia a configuração de um "S" invertido (Figura 15).

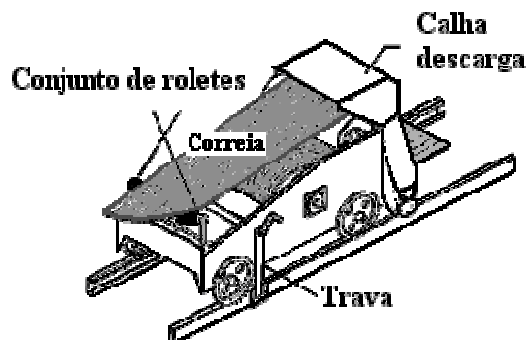


Figura 15 – Descarregador móvel ou “Tripper”.

2.3.1. Dimensionamento da Fita Transportadora

A capacidade da fita transportadora é função da sua concavidade transversal (Figura 14), que por sua vez é função da inclinação das polias livres (roletes). A relação e inclinação das polias livres dependem do material transportado (tamanho, forma e fluidez das partículas), de acordo com os valores apresentados na Tabela 6. No caso de grãos e partículas semelhantes, secas e limpas, esse ângulo vai de 8 a 19°. O equipamento sai de fábrica com ângulo de inclinação dos roletes de 5 a 10° menor que o ângulo de repouso do produto. Para o transporte de grãos em geral, é muito usada a inclinação de 45° para roletes com espaçamentos iguais.

TABELA 6 - Área da seção transversal (m²) de uma fita transportadora com diferentes larguras e ângulos de sobrecarga

Largura da fita (m)	Margem livre (m)	Ângulo de sobrecarga			Velocidade máxima (m/min)	
		10°	20°	30°	Mat. fino	Grãos
0,36	0,043	0,0069	0,0089	0,0109	91,4	122,0
0,41	0,045	0,0094	0,0122	0,0150	91,4	137,0
0,46	0,046	0,0124	0,0161	0,0199	121,9	152,0
0,51	0,050	0,0158	0,0204	0,0253	121,9	183,0
0,61	0,056	0,0239	0,0308	0,0381	152,4	213,0
0,76	0,063	0,0391	0,0504	0,0622	167,6	244,0
0,91	0,071	0,0578	0,0746	0,0921	182,8	244,0
1,07	0,079	0,0807	0,1040	0,1273	182,8	244,0

A equação 9 é usada para determinar a potência necessária de uma correia transportadora.

$$P = [1,292 V.L (0,015 + 3,28.10^{-4}C) + M(0,48 + 9,9.10^{-3}C) + (3,33h .M)]/100 \tag{eq. 9}$$

em que

P = potência estimada, cv;

V = velocidade da correia, $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$;
 L = largura da correia, cm ;
 C = comprimento do transportador, m ;
 M = vazão mássica do produto, $\text{ton}\cdot\text{h}^{-1}$; e
 h = altura de elevação, m .

2.3.2. Exemplos

a) Dimensionar o sistema de transporte de acordo com as especificações apresentadas na Figura 16:

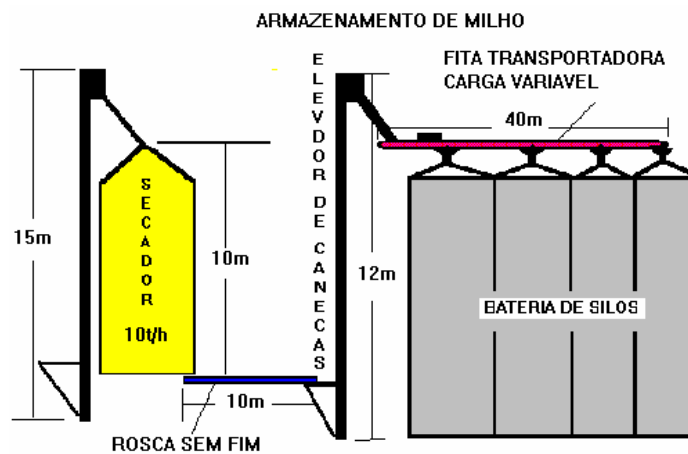


Figura 16 - Sistema hipotético de secagem e armazenagem.

1. Cálculo do elevador do secador: o elevador deve atender à capacidade do secador, que é de 10 toneladas por hora. Para garantia de fluxo, recomenda-se que o secador seja calculado com carga adicional de 20%. Portanto, o elevador deverá ser dimensionado para uma capacidade de 12 toneladas por hora.

Supondo que a polia motora possua raio de 30 cm e raio efetivo de 35 cm, pode-se calcular sua rotação utilizando-se a equação 4:

$$N = 30 / (0,35)^{1/2} \cong 51 \text{ rpm}$$

Utilizando-se a equação 5, calcula-se a velocidade linear mínima das caçambas que permitirá descarga centrífuga:

$$V = 2\pi RN = (2) \cdot (3,14) \cdot (0,35) \cdot (51) \cong 112 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$$

Admitindo-se a capacidade do elevador como $12 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ e a capacidade unitária da caçamba de 450 g, o número de caçambas por metro de correia, segundo a equação 6, será:

$$12 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1} \cong 202 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1} = Vnq = (112) \cdot (n) \cdot (0,450)$$

$$n = 4 \text{ caçambas por metro de correia}$$

A potência necessária para acionar o elevador carregado é calculada segundo a

equação 7:

$$P = 2,22 \times 10^{-4} Q.H.Fa = 2,22 \cdot 10^{-4} \cdot (202) \cdot (15) \cdot (1,15) = 0,77 \text{ cv} \cong 1,0 \text{ cv}$$

2. Cálculo da rosca-sem-fim: a rosca sem fim deve atender à capacidade do secador com capacidade adicional de 20%. Portanto, a rosca também deverá ser dimensionada para a capacidade de 12 toneladas por hora ou $0,28 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, para o produto com massa específica de $721 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Utilizando um helicóide-padrão com diâmetro e passo iguais a 15 cm, diâmetro do eixo igual a 5 cm e rotação de 120 rpm, pode-se calcular a potência necessária para o acionamento da rosca de acordo com a equação 3:

$$P = 2,22 \times 10^{-4} (Q.Me.L.Fm) = (2,22 \times 10^{-4}) \cdot (0,28) \cdot (721) \cdot (10) \cdot 0,4 = 0,18 \text{ cv}$$

Pela Tabela 3, deve-se multiplicar o resultado por 2. Assim,

$$P = 0,18 \times 2 \cong 0,36 \text{ cv} .$$

Comercialmente, adota-se um motor de 0,5 cv.

3. Cálculo do elevador para o silo: utilizando-se procedimentos semelhantes ao empregado no cálculo do elevador do secador, considerando um elevador com cinco caçambas por metro e capacidade de $15 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$, encontram-se os seguintes valores:

$$N = 30 / (0,35)^{1/2} \cong 51 \text{ rpm}$$

$$V = 2\pi RN = (2) \cdot (3,14) \cdot (0,35) \cdot (51) \cong 112 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q = Vnq = (112) \cdot (5) \cdot (0,450) \cong 252 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1} \cong 15 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$P = 2,22 \times 10^{-4} Q.H.Fa = 2,22 \times 10^{-4} \cdot (252) \cdot (12) \cdot (1,15) = 0,77 \text{ cv} \cong 1,0 \text{ cv}$$

4. Cálculo da fita transportadora: a fita deve atender à capacidade do elevador do silo, que é de 15 toneladas por hora, com capacidade adicional de 20%. Portanto, a fita deverá ser dimensionada para uma capacidade de 18 toneladas por hora ou $0,42 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, para um produto com massa específica de $721 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Utilizando uma fita com um ângulo de sobrecarga de 10° , pode-se, por meio de tentativas e com os valores da Tabela 6, estimar a largura da fita. O volume transportado (Vol) é função da velocidade (Vel) e da área da seção transversal da fita carregada (A). Admitindo, como primeira tentativa, uma fita com 36 cm de largura e velocidade máxima de $122 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, o volume transportado será:

$$\text{Vol} = A \cdot \text{Vel} = (0,0069) \cdot (122) = 0,84 \text{ m}^3 / \text{min} = 50,4 \text{ m}^3 / \text{h} = 36,3 \text{ t/h}$$

Pode-se calcular a potência necessária para o acionamento da fita de acordo com a equação 9:

$$P = [1,292 \times 122 \times 36 (0,015 + 3,28 \cdot 10^{-4} \times 40) + 36,3 (0,48 + 9,9 \cdot 10^{-3} \times 40) + (3,33 \times 0 \times 36,3)] / 100 = 1,91 \text{ cv} \cong 2,0 \text{ cv}$$

A menor fita transportadora, pela tabela, tem capacidade superior à capacidade necessária. Como a fita é um dos equipamentos mais caros entre os transportadores de materiais granulares, sugere-se ao projetista fazer uma análise técnico-econômica para escolha de outro transportador, como, por exemplo, uma rosca sem fim. Alternativa seria a utilização de um elevador com saídas para os diferentes silos.

b) Uma fita com ângulo de 20° na sobrecarga transporta 45 toneladas de trigo (PH = 78) por hora. Que largura deve ter a fita para operar em velocidade máxima?

A estimativa da largura da fita pode ser feita por tentativa, a partir da Tabela 6. Sabe-se que o volume transportado pela fita, na unidade de tempo, é função da área da seção transversal e da velocidade máxima.

$$\text{Vol}(\text{m}^3\text{h}^{-1}) = A \text{ seq. transv.}(\text{m}^2) \cdot \text{vel.}(\text{m.h}^{-1})$$

Pela Tabela 6, com 20° no ângulo de sobrecarga e velocidade máxima para grãos, Ter-se-á:

$$\text{Vol} = 0,0089 \text{ m}^2 \times 122 \text{ m.min}^{-1} \times 60 \text{ min.h}^{-1}$$

$$\text{Vol.} = 65 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.$$

Nota-se que este volume pode ser transportado em uma fita cuja largura seja igual a 0,36 m, atendendo às especificações do problema.

A potência exigida para que a fita transporte o produto pode ser calculada levando-se em consideração uma possível elevação do produto, a resistência oferecida pela fita durante o deslocamento e a resistência contrária ao movimento, proveniente das polias livres e dos acessórios. As constantes utilizadas em tais procedimentos variam conforme as condições de operação e a flexibilidade da fita entre as polias livres, causadas pela carga e absorvendo parte da potência.

A estimativa da potência deve ser executada em uma etapa, pelo uso da equação 9, ou em três etapas:

a) Estimativa da potência necessária para a movimentação da fita sem carga:

$$\mathbf{Pa = [V \cdot L \cdot 1,292 (0,015 + 3,28 \cdot 10^{-4}C)] / 100} \quad \mathbf{eq.10}$$

b) Estimativa da potência necessária para transportar o material na posição horizontal:

$$\mathbf{Pb = [M (0,48 + 9,9 \cdot 10^{-3}C)] / 100} \quad \mathbf{eq.11}$$

c) Estimativa da potência necessária para a fita transportar o produto em posição inclinada:

$$\mathbf{Pc = (h \times 3,33 \times M) / 100} \quad \mathbf{eq.12}$$

em que

P = potência estimada, cv;

V = velocidade da correia, $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$;
 L = largura da correia, cm ;
 C = comprimento do transportador, m ;
 M = massa de produto a ser transportado, $\text{ton}\cdot\text{h}^{-1}$; e
 h = altura de elevação, m .

A potência total estimada é dada por:

$$P_t = P_a + P_b + P_c \quad \text{eq.13}$$

Exemplo:

Estimar a potência necessária para transportar $60 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ de trigo cuja massa específica é $780 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, a uma distância horizontal de 50 m , com uma elevação de $8,8 \text{ m}$, utilizando um transportador de correia sobre roletes em forma de calha.

O comprimento do transportador é determinado pela hipotenusa formada a partir das distâncias horizontal e vertical, estabelecidas no problema.

$$\begin{aligned} \text{tg}(a) &= 8,8/50 = 0,18 \\ a &= 10^\circ \text{ (inclinação da fita).} \end{aligned}$$

O comprimento C será calculado por:

$$C = 8,8 / \text{sen}(10^\circ) = 8,8 / 0,19 = 50,7 \text{ m.}$$

O volume de produto transportado na unidade de tempo e a área da seção transversal ocupada com o produto serão, respectivamente:

$$\begin{aligned} \text{Vol} &= 60 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1} / 0,78 \text{ ton}\cdot\text{m}^{-3} = 77 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \\ \text{Vol} &= \text{Área seç. transv.} \times \text{Vel. da correia.} \end{aligned}$$

Por tentativa, seleciona-se uma largura da fita, segundo a Tabela 6, para obter a velocidade máxima correspondente.

Para $L = 0,36 \text{ m}$ e 10° de inclinação:

$$\text{Vol} = 0,0069 \text{ m}^2 \times 122 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} \times 60 \text{ min}\cdot\text{h}^{-1} = 50,5 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}.$$

Verifica-se que a fita com $0,36 \text{ m}$ de largura não atende às necessidades de transporte; faz-se então novo cálculo para uma fita de maior largura.

Para $L = 0,41 \text{ m}$ e 10° de inclinação:

$$\text{Vol} = 0,0094 \text{ m}^2 \times 137 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} \times 60 \text{ min}\cdot\text{h}^{-1} = 77,3 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}.$$

Este valor atende às necessidades do problema, isto é, $77,0 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ de produto transportado.

A estimativa da potência necessária para movimentar a fita sem carga (equação 10) será:

$$P_a = [137 \times 0,41 \times 1,292 (0,015 + 0,000328 \times 50)] / 100$$

$$P_a = 0,02 \text{ cv.}$$

A estimativa da potência exigida para o transporte na horizontal é dada pela equação 11:

$$P_b = [60,0 \times (0,48 + 0,0099 \times 50)] / 100 = 0,6 \text{ cv.}$$

Pela equação 12 estima-se a potência necessária para o transportador trabalhar em posição inclinada:

$$P_c = (8,8 \times 3,33 \times 60) / 100 = 17,58 \text{ cv.}$$

A estimativa da potência total será:

$$P_t = 0,02 + 0,6 + 17,58 = 18,2 \text{ cv.}$$

Escolhe-se o motor com a potência comercial mais adequada que é 20 cv.

Nota: nos cálculos não foi considerada a eficiência do equipamento.

2.4. Transportadores Pneumáticos

Os transportadores pneumáticos movem os grãos, empregando-se um fluxo de ar em alta velocidade, através de um sistema de tubulação hermético.

O projeto ou o uso de transportadores pneumáticos exige determinados conhecimentos, como: pressão, velocidade e quantidade de ar necessária para o arraste dos grãos; potência exigida; e características físicas do material transportado, considerando-se que estas variáveis irão influenciar o desempenho do equipamento.

Como vantagens, os transportadores pneumáticos apresentam baixo custo inicial, simplicidade mecânica, percurso de transporte único ou ramificado, facilidade na variação da trajetória e sistema auto-limpante.

Elevada potência e danos ao material transportado (principalmente grãos) são as principais desvantagens a serem consideradas na adoção de sistemas pneumáticos.

Os sistemas pneumáticos podem ser classificados de acordo com o sistema de carga do produto, da seguinte forma:

2.4.1. Sistema de sucção

É um sistema que opera com pressão abaixo da pressão atmosférica, sendo muito utilizado na descarga de caminhões, vagões e barcos e no transporte de materiais cuja textura dificulta a fluidez através de válvulas, roscas alimentadoras e ventiladores (Figura 17).

Nesse sistema, o material a ser transportado não passam pelo ventilador, pois um ciclone retira o produto da corrente de ar e permite sua descarga. Geralmente, a carga é realizada através de tubos flexíveis e ajustáveis para permitir maior ou menor entrada de material granular.

Uma das vantagens deste sistema é a possibilidade de transportar material de dois ou mais pontos para um ponto comum.

2.4.2. Sistema por pressão

Nos transportadores por pressão, os grãos são colocados na tubulação por meio de dosadores (injetores) para que a proporção de material granular e o fluxo de ar sejam adequados (Figura 18).

2.4.2. Sistema combinado (Pressão e sucção)

É o sistema mais comum. Parte do transporte dos grãos é efetuada por sucção e outra por pressão. Pode ser portátil, montado sobre rodas que permite fácil deslocamento do conjunto. A Figura 19 mostra um esquema deste sistema

O ciclone, na linha de sucção, não permite que o material passe pelo ventilador e alimente a linha de pressão.

A grande vantagem da utilização de um transportador pneumático está no fato de este permitir o movimento do produto em qualquer direção, inclusive trajetos curvos, além de permitir mudança de direção durante o transporte.

O conhecimento das características do ventilador, eficiência, pressão total, potência requerida em função da vazão de ar a diversas rotações é de suma importância para a escolha correta do ventilador, de modo que a eficiência do transportador pneumático não fique comprometida.

Segundo SEGLER (1951), um incremento de 100% na potência consumida pode facilmente surgir por meio de ventilador inapropriadamente dimensionado.

A pressão e a quantidade de ar a ser fornecida pelo ventilador são determinadas em qualquer sistema de transporte pneumático pelas características da linha de transporte. Essas condições são dependentes de vários fatores, tais como: diâmetro, comprimento e natureza da tubulação, do fluxo e dos grãos a serem transportados, bem como da queda de pressão ocorrida quando os grãos são alimentados no transportador. Dependente, também, de outras características da linha de transporte, como: tipo de alimentação, altura e tipo de descarga, mudança de direção.

A velocidade do ar na tubulação, que é função da pressão dinâmica, é descrita pela equação 14:

$$v = 4,04 \cdot \sqrt{Pd} \quad \text{Eq.14}$$

Onde:

v = velocidade do ar no transporte ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);
 Pd = pressão dinâmica (mmca).

A vazão de ar no transportador é função da velocidade deste na linha de transporte e da área da seção transversal da tubulação, conforme descrito na equação 15:

$$Q = v \cdot A \quad \text{Eq.15}$$

Onde:

Q = vazão de ar no transportador ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$);
 A = Área da seção transversal da tubulação (m^2).

Para determinação da potência do sistema, utiliza-se a equação 03:

$$Pot = \frac{Q \cdot Pt}{455 \cdot \eta_{inj} \cdot \eta_{ven}} \quad \text{Eq.16}$$

Onde:

- Pot = Potência requerida (cv);
- Pt = Pressão total (cmca);
- η_{inj} = eficiência do injetor (dec);
- η_{ven} = eficiência do ventilador (dec).

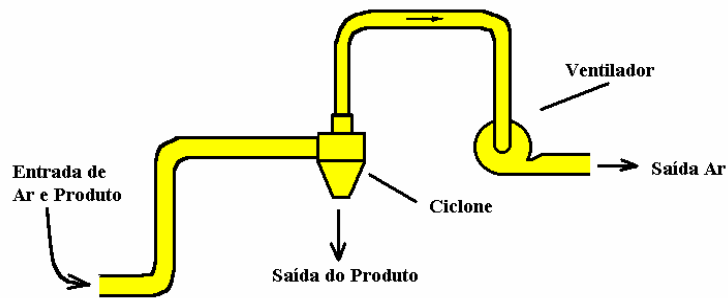


Figura 17 – Transporte pneumático por sucção.

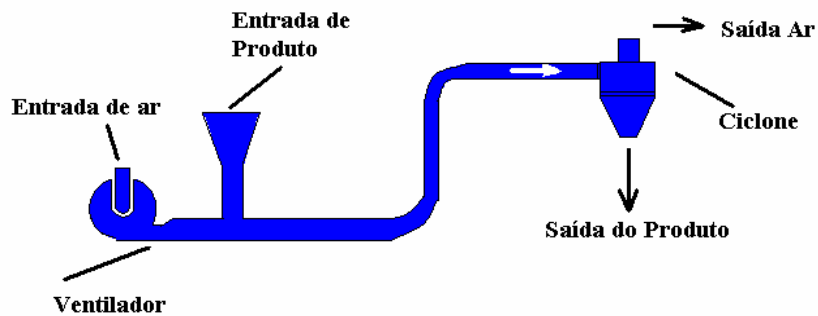


Figura 18 - Transporte pneumático por pressão.

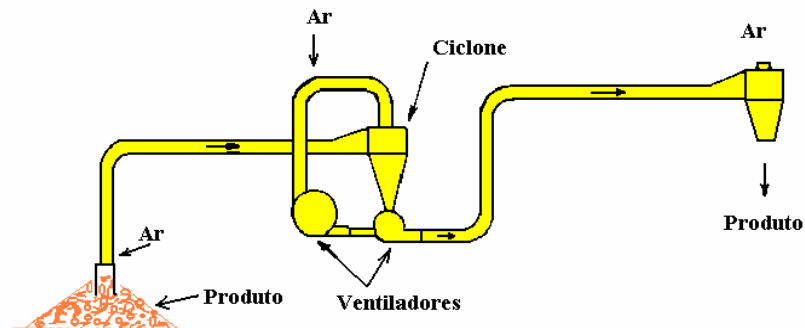


Figura 19 - Transporte pneumático por sucção e pressão.

2.4.1. Movimento das Massas

a) **Vertical:** dependendo do tipo de grãos, a quantidade mínima de ar necessária para a movimentação do produto varia de 0,93 a 3,16 m³.kg⁻¹ de produto (Tabela 7). Quando a velocidade do ar é reduzida e/ou a alimentação do equipamento contendo o produto não é uniforme, a necessidade de ar por unidade de massa do produto transportado pode ser aumentada bastante.

A pressão estática exigida para a sucção vertical do transportador é função da perda de pressão devido ao atrito do ar contra as paredes do tubo, da pressão resultante do peso do material granular no tubo e da perda de energia do material devido ao atrito contra as paredes do tubo condutor.

TABELA 7 – Velocidade recomendada para transporte de produtos agrícolas

Produto	Velocidade m.min ⁻¹	Produto	Velocidade m.min ⁻¹
Cevada	1524 - 1981	Algodão (caroço)	1219 - 1829
Café (coco)	914 - 1067	Aveia	1372 - 1829
Milho	1534 - 2134	Trigo	1524 - 2134

b) **Horizontal:** embora o transporte do produto em condutores horizontais tenha sido estudado por vários pesquisadores, há muitas dúvidas quanto à importância dos mecanismos que envolvem os procedimentos dos projetos do sistema. Sabe-se, entretanto, que existem perdas de energia resultantes do atrito entre o ar e as paredes do conduto, entre os grãos e o ar, entre o grão e a parede do conduto e entre os próprios grãos. Devido à falta de informação, há necessidade de conhecer certos fundamentos mecânicos para o transporte horizontal.

Ao escoar livremente, a partícula estará sujeita a ação de força horizontal, devido ao movimento do ar, e de força vertical, devido à gravidade.

3. LITERATURA CONSULTADA

1. DOBIE, J.B. & CURLEY, R.G. **Materials handling for livestock feeding**, circular no. 517, University of California, 1963, 39p.
2. GIUDICE, P.M.del; HARA, T; PINHEIRO FILHO, J.B.; COELHO, D.T. & AZEVEDO, J.M.P. **Manuseio, secagem e armazenamento de café**, Viçosa-MG, UFV, 1972, 272p.
3. HENDERSON, S.M. & PERRY, R.L. **Agricultural process engineering**, The AVI Publishing Company, Inc. Westport, 1976, 441p.
4. LACERDA FILHO, A. F.; SILVA, J. S. & AFONSO, A. D.L. Transportadores de grãos. In: *Pré-processamento de produtos agrícolas*, Juiz de Fora, Instituto Maria, 1995. 509p.
5. REMPE, J.B. & COOPERCO, O.A. **Bulk materials handling and storage**. In: *American Feed Manufacturers Association, Inc., Chicago, 1970, 497-528p.*

6. SEGLER, G. **Pneumatic grain conveying with special reference to agricultural engineering**. Natl. Institute of Agricultural Engineering, Wrest Park, Silsoe, Bedfordshire, England, 174 p., 1951.
7. Shreekant R. Parde^a, Rameshwar T. Kausal^b, Digvir S. Jayas and Noel D. G. White. Mechanical damage to soybean seed during processing **Journal of Stored Products Research** Volume 38, Issue 4, 2002, Pages 385-394
8. SPIVAKOVSKY, A.O. & DYACHKOV, V.K. **Conveying machines**, Mir Publishers, Moscou, Vol I, 1985, 229p.
9. SPIVAKOVSKY, A.O. & DYACHKOV, V.K. **Conveying machines**, Mir Publishers, Moscou, Vol II, 1985, 262p.