

Sessão – dia 03/08/76

**NOVAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA AO MOVIMENTO EM TRANSPORTADORES
DE CORREIA DE ALTA CAPACIDADE**

DAN VINCENT
Engenheiro Senior

WERNER K. BEHREND
Chefe, Depto. de Manuseio de Materiais

ZOLTAN F. OSZTER
Superintendente da Área de Mineração e Metalurgia
PROMON ENGENHARIA S.A.

RESUMO

Este trabalho analisa as resistências ao movimento em transportadores de correia, considerando especificamente em detalhe a resistência por atrito devido à pressão entre os rolos de roletes e a correia e à flexão da própria correia e do material transportado.

Para o caso de transportadores longos e altamente carregados (15.000 a 20.000 TPH) as resistências acima assumem valores altos, exigindo altas potências de acionamento, que não são calculáveis com as fórmulas normalmente utilizadas.

Este trabalho estabelece a correlação entre dados experimentais e apresenta fórmulas que se constituem em ferramentas úteis para os projetistas de sistemas de transporte de minério a altas capacidades.

A aplicação é ilustrada por um exemplo anexo.

1. INTRODUÇÃO

A resistência que as forças de atrito apresentam ao movimento de um transportador de correia tem sido através dos anos, assunto de intensos estudos e pesquisas por parte dos engenheiros de manuseio de materiais.

Através de ensaios no campo foram obtidos dados sobre transportadores de correia de diferentes características, transportando diferentes materiais, a várias capacidades. (1)

Estes ensaios foram realizados nos EEUU. e em outros países a análise dos ensaios no campo resultou em fórmulas válidas dentro de certos limites de tensão e da carga por unidade de comprimento do transportador.

Em geral, estas formulas são válidas para tensões médias na correia iguais ou inferiores a 7500 kg e para uma carga total por unidade de comprimento do transportador (correia + carregamento) igual ou inferior a 450 kg/m. (7)

Dentro desta faixa, e a despeito da natureza diferente das diversas expressões desenvolvidas (Goodrich, Goodyear, CEMA, DIN, etc.), os resultados dos cálculos variam dentro de uma faixa de $\pm 10\%$. (2)

Com o crescente uso de transportadores mais longos e com capacidades mais altas, as tensões e a carga por unidade de comprimento do transportador têm sofrido um aumento contínuo muito além do limite de validade das fórmulas (7) comumente usadas. A simples extrapolação destas fórmulas não oferece resultados satisfatórios, e passou a exigir uma série mais completa de ensaios e análises, de forma a proporcionar aos engenheiros uma ferramenta para o cálculo de transportadores longos e pesadamente carregados.

O presente trabalho se propõe a correlacionar, tanto quanto possível, os dados teóricos e experimentais presentemente disponíveis e a condensar os resultados em fórmulas para o cálculo da potência requerida para transportadores de correia de alta capacidade, fórmulas estas que poderão ser usadas como ferramentas úteis aos engenheiros de manuseio de materiais.

2. FORMULAÇÃO GERAL

A energia potencial requerida para se levantar ou abaixar uma dada carga, é uma quantidade exata cujo cálculo está sujeito apenas às leis físicas. A potência requerida para realizar o trabalho de levantamento ou abaixamento de carga, é diretamente proporcional a esta carga e pode ser facilmente calculada pela expressão:

$$\text{HP levantamento} = \text{Constante} \cdot H \cdot Q, \text{ onde} \quad (1)$$

H = altura de levantamento (m)

Q = capacidade (TPH)

Contudo, a avaliação das forças resistentes devidas ao atrito tem uma natureza empírica. A energia desenvolvida para vencer o atrito é função de vários fatores, alguns dos quais ainda não totalmente compreendidos e analisados, e difíceis de serem expressos de uma maneira matematicamente simples.

Os principais fatores que contribuíram para a resistência ao movimento devida ao atrito são:

- a) resistência do rolete à rotação em torno de seu eixo;
- b) resistência da correia à flexão sobre as polias;
- c) resistência das polias terminais à rotação em torno de seus eixos;
- d) resistências provenientes de acessórios de natureza diversa, tais como: limpador, saias, etc.
- e) resistência devida à impressão da correia nos rolos dos roletes;
- f) resistência da carga (material transportado) à flexão entre os roletes;
- g) resistência da correia à flexão entre os roletes.

Os itens "a", "b", "c" e "d" são bem conhecidos, tendo sido descritos e analisados em várias publicações e não serão tratados neste trabalho.

Somente os itens "e", "f" e "g", que são os principais componentes da resistência ao movimento devido ao atrito (representada pelo coeficiente de atrito "global", K_y) serão analisados neste trabalho. (7)

O coeficiente de atrito K_y pode ser expresso como composto pelas seguintes parcelas:

$$K_y = K_{y1} + K_{y2} + K_{y3} \quad (2)$$

Total (impressão) (flexão da correia) (flexão do material)

Embora os fenômenos sejam basicamente os mesmos tanto em transportadores pequenos com carga leve, como em transportadores longos e pesadamente carregados, a proporção entre os componentes da resistência devida ao atrito, variam com o aumento da carga e de tensão média da correia. Em transportadores com altas tensões e pesadamente carregados, (T média » 30 toneladas e $W_m + W_b$ » 1000 kg/m), a componente devida ao peso (impressão) pode representar até aproximadamente 70% do valor do coeficiente K_y . Em transportadores de tensão mais baixa, mas também pesadamente carregados (ex: transportadores curtos, etc.), esta componente pode representar apenas 40%, ou ainda menos do valor do coeficiente K_y . (Fig. 15)

3. RESISTÊNCIA POR ATRITO DEVIDA À IMPRESSÃO (K_{y1})

O fenômeno da impressão da correia sobre os roletes, pode ser considerado semelhante ao da impressão de uma roda (ou cilindro) que rola sobre uma superfície plana deformável.

Por exemplo, na teoria da resistência ao rolamento, o momento de desequilíbrio que causa o movimento é determinado tomando-se o somatório dos momentos em relação ao ponto de contato entre a roda e a superfície.

Como ilustra a Fig. 1, se a superfície for rígida, o somatório dos momentos em relação a "c" torna-se zero, porque o peso "W" passa por "c". Teoricamente, então, uma roda uma vez posta em movimento sobre uma superfície rígida e horizontal, rolaria para sempre. Sabemos que esta conclusão é falsa, porque superfícies completamente rígidas não existem, em realidade.

A resistência ao movimento de rolamento de uma roda é, portanto, consequência da roda rolar sobre uma superfície que cede, conforme o ilustrado na Fig. 2. A superfície à frente da roda é comprimida, fazendo com que a força normal "N" passe a atuar adiante da linha de ação do peso "W". Consequentemente, um momento resistente " $W \cdot b$ " (em relação ao ponto "c") resistirá ao movimento de rotação da roda.

Por esta razão, a distância "b" é conhecida como o coeficiente de resistência ao rolamento. Apesar deste coeficiente ser geralmente presumido como constante, experiências mostram que ele varia com o raio e peso da roda, natureza da superfície e da velocidade relativa entre a roda e a superfície.

Em correias transportadoras o fenômeno é idêntico. Basta considerar como roda, o rolete e como superfície que cede, a própria correia. (Fig. 3)

Comparando-se a resistência por atrito a impressão, com a resistência ao rolamento de uma roda e utilizando-se dados experimentais, determinou-se que a resistência por atrito devida a impressão, é uma função dos seguintes fatores:

- a) Peso do material e da correia por unidade de comprimento da correia ($W_m + W_b$);
- b) ângulo de inclinação, tipo, diâmetro dos rolos e espaçamento entre roletes;
- c) Tipo, espessura, dureza do recobrimento inferior e tensão média da correia;
- d) Velocidade da correia.

As curvas apresentadas nas Figs. 4 a 10, mostram a influência de vários fatores sobre a resistência devida à impressão. Estas curvas foram obtidas através de ensaios experimentais em uma correia de cabos de aço tipo ST 2000. (3)

A Fig. 4 mostra os comprimentos totais e parciais do arco de contato entre rolo e correia, como função da velocidade e peso unitário normal da correia.

A Fig. 5 mostra a proporção entre os arcos de contato parciais, L1 e L2, da Fig. 3, em função da velocidade da correia e a peso unitário normal.

Como pode ser observado nas Figs. 4 e 5, o arco de contato "L", que contribui para a resistência ao movimento, aumenta com o aumento da velocidade; contudo o arco "L2" aumenta muito menos.

Ambos os arcos também aumentam, quando o peso total sobre o rolete é aumentado.

Consequentemente, a resistência devida à impressão aumenta, quando a velocidade e o peso por unidade de comprimento são aumentados.

A Fig. 6 ilustra a influência do diâmetro do rolo sobre a resistência devida à impressão. A resistência aumenta quando o diâmetro do rolo é diminuído.

A Fig. 7 ilustra a influência da velocidade da correia na resistência devida à impressão. A resistência aumenta quando a velocidade da correia aumenta.

A Fig. 8 ilustra a influência direta da carga por unidade de comprimento sobre a resistência devida a impressão. A resistência aumenta quando a carga aumenta.

A Fig. 9 ilustra a variação da resistência devida à impressão, em função da tensão máxima na correia, expressa como % de resistência à ruptura da correia. (t%)

A Fig. 10 ilustra a variação da resistência devida à impressão em função da espessura do recobrimento inferior da correia, para vários diâmetros de rolos. A resistência aumenta com a diminuição do diâmetro do rolo e com o aumento da espessura do recobrimento da parte inferior da correia.

A Fig. 11 ilustra a distribuição da carga entre os rolos de um rolete, baseada em uma combinação de cálculos matemáticos e ensaios de campo para transportadores de 72" e 84" de largura (realizados no Brasil, pela FAÇO).

As curvas da Fig. 11 demonstram que o peso total sobre os rolos centrais é maior para roletes de 4 rolos do que para roletes de 3 rolos. Entretanto, em virtude do maior comprimento total dos dois rolos centrais, o peso por unidade de comprimento ao longo do eixo do rolo torna-se menor no rolete de 4 rolos do que no rolete de 3 rolos.

Por exemplo:

A Fig. 11 mostra que para um carregamento volumétrico do transportador de 100%, um rolete de 3 rolos com rolos laterais a 45°, suporta 66% da carga no rolo central e 17% em cada rolo lateral. Um rolete de 4 rolos, com rolos laterais a 45°, suporta 88% da carga nos dois rolos centrais e somente 6% em cada rolo lateral.

Usando-se as informações de catálogo de um fornecedor, obtemos os seguintes valores para uma correia de 84" de largura:

$$\begin{array}{ll} A = 56,1 \text{ cm} & B = 74,6 \text{ cm} \\ A' = 31,0 \text{ cm} & B' = 52,8 \text{ cm} \end{array}$$

O peso por unidade de comprimento do rolo, para uma carga total de 1000 kg será:

a) Para roletes de 3 rolos:

$$\text{– Rolo Central: } \frac{0,66 \times 1000}{74,6} = 8,86 \text{ kg/cm}$$

$$\text{– Rolos Laterais: } \frac{0,17 \times 1000}{52,8} = 3,22 \text{ kg/cm}$$

b) Para roletes de 4 rolos:

$$\text{– Rolos Centrais: } \frac{0,88 \times 1000}{2 \times 56,1} = 7,84 \text{ kg/cm}$$

$$\text{– Rolos Laterais: } \frac{0,06 \times 1000}{31,0} = 1,935 \text{ kg/cm}$$

As reduções nos pesos unitários suportados por roletes de 4 rolos serão:

$$\text{– Rolos Centrais: } \frac{4 \text{ rolos}}{3 \text{ rolos}} = \frac{7,84}{8,85} = 0,8858, \text{ ou seja, } 11,4\%.$$

$$\text{– Rolos Laterais: } \frac{4 \text{ rolos}}{3 \text{ rolos}} = \frac{1,935}{3,22} = 0,60, \text{ ou seja: } 40\%.$$

$$\text{– Redução média: } \frac{2 \times 40 \times 0,06 + 11,4 \times 0,88}{2 \times 0,06 + 0,88} \cong 15\%$$

Resultados semelhantes poderão ser obtidos, analisando-se os roletes a 45° de um transportador de correia de 72”.

A redução média de 15%, na carga do rolete por unidade de comprimento, torna recomendável o uso do rolete de 4 rolos (sob o ponto de vista da resistência por impressão) nos transportadores de correia de alta capacidade.

Combinando os resultados dos ensaios do Dr. Ing. Schwarz (3) com os do Dr. Ing. Behrens (4) e complementado-os com a observação acima, a respeito da distribuição da carga em roletes de 4 rolos, chegamos à expressão empírica da resistência por impressão K_{y1} , como se segue:

$$K_{y1} = 100 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \frac{v^{l_v} \cdot b^{l_b} \cdot s_p^{l_{sp}}}{d^{l_d} \cdot t^{l_t}} \cdot (W_m + W_b)^{l_w}, \quad (3)$$

(kg/m)

Onde:

C_1 = Coeficiente adimensional, função do tipo de correia;

– para correias de cabo de aço, $C_1 = 0,85$

C_2 = Coeficiente adimensional, função do tipo de rolete;

– para rolete de 4 rolos iguais, $C_2 = 0,85$

– para rolete de 3 rolos iguais, $C_2 = 1,00$

C_3 = Coeficiente adimensional, função do ângulo de inclinação dos roletes;

– para roletes a 45° , $C_3 = 1,1$

– para roletes a 35° , $C_3 = 0,9$

V = velocidade da correia (m/s)

b = Espessura do revestimento inferior da correia (mm)

s_p = Espaçamento entre roletes (m)

d = Diâmetro do rolo (mm)

t = Tensão máxima na correia, como % da resistência a ruptura da correia.

$(W_m + W_b)$ = Peso do material e da correia por unidade de comprimento do material do transportador (kg/cm)

Os coeficientes exponenciais foram estabelecidos por ensaios (3), (4) e são recomendados os seguintes valores para correias de cabo de aço de alta capacidade.

$$\ell_v = 0,34$$

$$\ell_b = 0,235$$

$$\ell_d = 1,02$$

$$\ell_t = 0,055$$

$$\ell_w = 1,3$$

$$\ell_{sp} = 1,08 \text{ (para } 35^\circ)$$

$$1,05 \text{ (para } 45^\circ)$$

É ainda importante mencionar que os coeficientes da fórmula (3) conduzem a valores para a resistência a impressão entre os valores mais altos e mais baixos obtidos pelos pesquisadores alemães.

Consequentemente, num transportador de alta capacidade de dadas características, (tipo de rolete, espaçamento, tipo de correia, velocidade, etc.) a resistência a impressão permanece uma função do peso por unidade de comprimento como segue:

$K_{v,1} = a (W_m + W_b)^{1,3}$ onde: a é uma constante dependente das características do transportador e é calculada pela expressão:

$$a = 100 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \frac{v^{\ell_v} \cdot b^{\ell_b} \cdot s_p^{\ell_{sp}}}{d^{\ell_d} \cdot t^{\ell_t}} \quad (4)$$

Nesta fórmula, $W_m + W_b$ deverá ser expressa em kg/cm e K_{y1} será, consequentemente, expressa em kg/m.

4. RESISTÊNCIA A FLEXÃO DA CORREIA E DO MATERIAL ($K_{y2} + K_{y3}$)

A deflexão da correia e do material, no intervalo entre os roletes, introduz uma resistência ao movimento. Esta resistência é uma função do espaçamento e tipo do rolete, da deflexão, do peso da correia e do material e das características específicas de correia e do material.

A Fig. 12 apresenta um corte típico longitudinal de uma e material, em movimento.

A Fig. 13 apresenta a geometria da correia e do material sobre roletes de 4 e 3 rolos.

Considerando o fenômeno da deflexão como sendo estático e comparando-se a flexão da correia e a flexão do material com as de uma viga elástica bi-apoiada, chega-se a conclusão que a resistência à flexão será diretamente proporcional a H_b^3 e H_m^3 , onde H_b e H_m são as alturas verticais indicadas na Fig. 13, para a correia e para o material, respectivamente. Estes valores variam de acordo com o tipo e ângulo de inclinação dos roletes.

As informações de catálogo, revelam que a altura do material (H_m) não varia apreciavelmente, de um rolete de 3 rolos para um de 4. Entretanto, a altura da correia (H_b) para um rolete de 4 rolos é aproximadamente 5% inferior a de um rolete de 3 rolos. Consequentemente resistência da correia à flexão será menor para roletes de 4 rolos.

Considerando-se a resistência total ao movimento, o rolete de 4 rolos oferecerá menor resistência, em virtude de sua configuração melhor se aproximar da forma da correia carregada, na parte que se situa entre os roletes. É, portanto, necessário uma menor força para re-conformar a correia, ao passar sobre o próximo rolete.

Nos anos 50, os pesquisadores da Universidade de Hannover (5) usavam o método da comparação do fenômeno da flexão da correia e material, com uma viga elástica sobre dois apoios para avaliar a resistência total devida à flexão da correia e material. Esta resistência foi assim expressa:

$$K_{y2} + K_{y3} = 0,267 (f_1 \cdot G_b + f_2 \cdot G_m) \frac{h}{S_p} \text{ (kg/rolete)} \quad (5)$$

h = flecha (m)

S_p = espaçamento dos roletes (m)

G_b = peso da correia por rolete (kg/rol)

- G_m = peso do material por rolete (kg/rol)
 f_1 = coeficiente de flexão da correia
 — para transportadores leves, $f_1 = 0,32$
 — para transportadores pesados, $f_1 = 0,38$
 f_2 = coeficiente de flexão do material
 (derivado à partir de ensaios com cascalho)
 = $0,267 \times \text{tg } \gamma$ ($\text{tg } \gamma$ = tangente do ângulo de repouso)

Considerando-se que em transportadores longos e pesados a relação h/Sp é de aproximadamente 0,01, a fórmula acima pode ser expressa como se segue:

$$K_{y_2} + K_{y_3} = \frac{0,267}{100} (f_1 \cdot G_b + 0,267 \cdot \text{tg } \gamma \cdot G_m) \quad (6)$$

Esta fórmula mostra a resistência à flexão da correia e do material como função somente do peso da correia e do peso do material. A validade desta expressão é limitada, uma vez que não leva em conta as tensões médias da correia. A validade desta expressão ficou ainda mais questionável com o crescente uso de transportadores mais longos e mais carregados (nos anos 60), os quais provaram que a fórmula não era suficientemente precisa pela razão anteriormente exposta.

Ensaio mais detalhados (realizados em meados dos anos 60) em transportadores com carga e tensões elevadas, revelaram o seguinte:

- A resistência ao movimento devido à flexão da correia e do material é diretamente proporcional à carga (peso do material e correia) e *indiretamente proporcional à tensão média da correia*.
- A resistência devida à flexão da correia e do material aumenta quando o ângulo de inclinação dos rolos laterais dos roletes é aumentado. (Ver Fig. 14)
- O uso mais recente de roletes de 4 rolos, revelou que a resistência ao movimento devida à flexão da correia e do material é menor nos roletes de 4 rolos do que nos roletes de 3 rolos.

Alguns resultados destes ensaios são ilustrados na Fig. 14 que mostra a influência do peso e da tensão na resistência devida à flexão da correia e do material.

Com base nestes ensaios, bem como em considerações teóricas sobre o tipo de roletes usados, a resistência devida à flexão da correia e material, pode ser expressa matematicamente como se segue:

$$K_{y_2} + K_{y_3} = C_4 \cdot C_5 \cdot \frac{(W_m + W_b)^n}{T_{\text{méd}}^m} \quad (\text{kg/m}) \quad (7)$$

Onde:

C_4 = Coeficiente adimensional, função do ângulo de inclinação do rolete:
 – para roletes a 45° , $C_4 = 1,28$
 – para roletes a 35° , $C_4 = 0,75$

C_5 = Coeficiente adimensional, função do tipo de rolete:
 – para roletes com 3 rolos iguais, $C_5 = 1,0$
 – para roletes com 4 rolos, $C_5 = 0,95$ (valor assumido)

m = Expoente, função do ângulo de inclinação dos rolos laterais:
 – para roletes a 45° , $m = 2,06$
 – para roletes a 35° , $m = 2,26$

Uma vez que o tipo de rolete e as características de correia sejam estabelecidas, a resistência à flexão da correia e material, será apenas uma função da tensão e do peso total por unidade de comprimento.

Se: $C_4 \cdot C_5 = a_1$

então $K_{y_2} + K_{y_3}$ poderá ser expressa como:

$$K_{y_2} + K_{y_3} = a_1 \cdot \frac{(W_m + W_b)^n}{T_{\text{méd}}^m} \quad (\text{kg/m}) \quad (8)$$

onde, $W_m + W_b$ é expressa em kg/cm e $T_{\text{méd}}$ em toneladas.

5. CONCLUSÕES

Para um transportador com características dadas, o coeficiente “ky” da resistência ao movimento devida a atritos, pode ser expressa como uma função do peso por unidade de comprimento e da tensão. Portanto, o coeficiente K_y variará ao longo do comprimento do transportador.

A fórmula a ser usada no cálculo do coeficiente de resistência por atrito, deverá ser a seguinte:

$$K_y = K_{y1} + K_{y2} + K_{y3} \quad (2)$$

(Total) (impressão) (flexão da correia) (flexão do material)

Onde:

$$K_{y_1} = a (W_m + W_b)^{1,3}$$

$$K_{y_2} + K_{y_3} = a_1 \frac{(W_m + W_b)^n}{T_{méd.}^m}$$

ou

$$K_y = a (W_m + W_b)^{1,3} + a_1 \frac{(W_m + W_b)^n}{T_{méd.}^m} \quad (\text{kg/m}) \quad (9)$$

Onde:

$W_m + W_b$ = expresso em kg/cm

$T_{méd}$ = tensão média em toneladas $\left(\frac{T_1 + T_{est}}{2}\right)$, ver Fig. 16)

a, a_1, m, n = coeficientes, como mostrado anteriormente

É importante notar, que as fórmulas acima citadas, são recomendadas somente para os cálculos da resistência por atrito em transportadores de correia de tipo cabo de aço e altamente carregados, que preencham as seguintes condições: $W_m + W_b > 450 \text{ kg/m}$ e $T_{méd} > 7,5$ toneladas.

A Fig. 15 mostra uma curva típica do coeficiente K_y por transportadores de alta capacidade, com correias de cabo de aço e roletes de 45° , como função da tensão média ($T_{méd}$). (4)

Utilizando-se esta fórmula (9) para o cálculo da potência requerida para transportadores de correia de alta capacidade, foram obtidos valores um pouco mais elevados que os medidos no campo. Contudo, é recomendável que o acionamento de um transportador seja ligeiramente super-dimensionado, de forma a evitar que não haja carência de potência nas ocasiões em que acidentalmente, o transportador seja sobre-carregado. Um exemplo numérico, que ilustra a ordem de grandeza dos valores aqui mencionados, está apresentado no Anexo.

No exemplo citado, foi apresentado um cálculo comparativo da potência requerida, utilizando-se a fórmula da GOODRICH e a da CEMA com os fatores K_y estabelecidos neste trabalho. Podem ser observadas diferenças apreciáveis nos resultados. Por este motivo, torna-se necessário analisar algumas das deficiências das fórmulas para o cálculo da potência usualmente utilizadas.

Método Goodrich

Esta fórmula, muito útil para o cálculo rápido da potência requerida é válida para transportadores de comprimento médio e para o cálculo aproximado da

distribuição de tensões, conforme o ilustrado no exemplo (no anexo).

Contudo, quando aplicada a transportadores longos e pesadamente carregados, esta fórmula apresenta deficiências por não levar explicitamente em consideração:

- O tipo de rolete empregado (3 ou 4 rolos)
- A influência das tensões na correia
- A inclinação dos rolos laterais do rolete (35°, 45°)
- A resistência da correia a flexão (entre roletes)
- A resistência do carregamento a flexão (entre roletes)
- A resistência devida a impressão da correia sobre os rolos

Todas as influências acima referidas, e, inclusive os atritos nos rolos, a resistência ao dobramento da correia sobre as polias e a resistência nos mancais das polias são englobadas nos dois coeficientes de atrito F_x e F_y (empíricos) e no fator de correção do comprimento L_c , convenientemente escolhido.

Método CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association)

Esta fórmula, mais expandida que a anterior, leva em consideração a maior parte das influências acima mencionadas pela aplicação, direta ou indireta, de fatores empíricos e fatores medidos no campo.

Contudo, também esta fórmula ainda apresenta limitações no que diz respeito à tensão média e à carga total por unidade de comprimento do transportador, e é válida somente entre os seguintes limites: $W_m + W_b < 450$ kg/m e $T_{\text{méd}} < 7,5$ ton.

Os coeficientes K_y (que combinam $K_{y1} + K_{y2} + K_{y3}$) foram obtidos por medições no campo, para os limites acima referidos.

Este trabalho se propõe a complementar o método da CEMA, no que se refere aos coeficientes K_y aqui desenvolvidos (ver equação (9)) que conduzirá a possibilidade de se levar em consideração os tipos de roletes (3 ou 4 rolos) na avaliação da potência necessária para transportadores de grande comprimento e altamente carregados. O exemplo mostra, claramente, as razões da preferência de roletes de 4 ou mais rolos para esta classe de transportadores.

REFERÊNCIAS

- (1) VIERLING A., H. OEHMEN, Prof. Dr. Ing.
Messungem an Förderbandanlagen,
Untersuchungsergebnisse und Qualitative Folgerungen.
Braunkohle, Wärme und Energie 1958 N° 15/16
- (2) OSZTER, ZOLTAN F.
The Design of Long Horizontal Belt Conveyors.

The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin
April 1962

- (3) SCHWARZ F. Dr. Ing.
Zum Eindruckrollwiderstand zwischen
Fördergurt und Tragrolle.
Sonderdruck aus "Fordern und Heben"
1967 Volume 12. pag. 712 - 719
- (4) BEHRENS U: Dr. Ing.
Untersuchungen zum Walkwiderstand
Schwerer Förderbandanlagen
Technische Hochschule Hannover; Dissertation, 1967
- (5) VIERLING A. Dr. Ing. Prof.
Untersuchungen ueber die Bewegungswiderstande
von Bandfoerderanlagen.
Foerdern und Heben, vol. 2, 1956
- (6) MEDIDAS FEITAS PELA FAÇO (Fábrica de Aço Paulista)
EM TUBARÃO (BRASIL)
— 15.01.76 — Dados não publicados.
- (7) CEMA — Belt Conveyors for Bulk Materials — 1974

ANEXO

O cálculo seguinte, referente a um transportador longo e pesadamente carregado (ver Fig. 16), ilustrará a diferença da potência requerida, calculada usando-se a fórmula Goodrich versus aquela calculada pelo método recomendado pela CEMA com a aplicação do fator "Ky" recomendado no presente trabalho.

Dados Básicos

| | | |
|---|---|--|
| Capacidade de projeto | = | 17.000 toneladas por hora |
| Velocidade | = | 5 metros por segundo |
| Tipo dos roletes de carregamento | = | 3 rolos, 45°, 84" de largura |
| Correia (84") | = | Cabos de aço, revestimento inferior = 6 mm |
| Espaçamento entre roletes | = | 1,0 m |
| Diâmetro dos rolos | = | 7" (177,8 mm) |
| Tensão máxima na correia | = | 10% da tensão de ruptura |
| W _m = peso do material | = | 945 kg por metro |
| W _b = peso da correia | = | 82 kg por metro |
| G = 250 kg por metro (peso da correia vazia + partes rotativas do rolete + todas as polias) | | |

Método da Goodrich

a) HP para movimentar a correia em vazio:

$$x = \frac{F_x \cdot G \cdot L_c \cdot S}{75} = \frac{0,03 \cdot 250 \cdot 860 \cdot 5}{75} = 430 \text{ HP}$$

$$L_c = 860 \text{ m}$$

$$F_x = 0,03 \text{ (para transportadores horizontais)}$$

b) HP para movimentar a carga:

$$y = \frac{F_y \cdot W_m \cdot L_c \cdot S}{75} = \frac{0,04 \cdot 945 \cdot 860 \cdot 5}{75} = 2167 \text{ HP}$$

$$F_y = 0,04$$

$$\text{HP}_{\text{Total}} = x + y = 430 + 2167 = 2597 \text{ HP}$$

HP_{total} no eixo da polia de acionamento, excluindo os valores para aceleração, acessórios e eficiência mecânica).

Método da CEMA (utilizando "Ky" recomendado no presente trabalho)

K_y calculado pela fórmula (9)

$$K_y = K_{y_1} + K_{y_2} + K_{y_3} = (W_m + W_b)^{1,3} + a_1 \frac{(W_m + W_b)^n}{T_{méd}^m} \quad (9)$$

Para as características deste transportador:

- a = 1,1 — para rolete de 3 rolos iguais
- = 0,93 — para rolete de 4 rolos iguais
- a₁ = 1,28 — para rolete de 3 rolos iguais
- = 1,21 — para rolete de 4 rolos iguais
- m = 0,76 e n = 2,06 (para roletes de 45°)

Utilizando: T_{méd} = 43450 kg (derivado do HP calculado pela fórmula da Goodrich e C_w = 0,64) e outros coeficientes acima mostrados na fórmula (9) obtemos:

$$K_y = 31,53 \text{ kg/m} \text{ — para rolete de 3 rolos iguais}$$

$$K_y = 27,66 \text{ kg/m} \text{ — para rolete de 4 rolos iguais}$$

Introduzindo estes valores na fórmula do HP da CEMA:

$$K_y = \frac{31,53}{W_m + W_b} = \frac{31,53}{1027} = 0,31 \quad (3 \text{ rolos})$$

$$K_y = \frac{27,66}{W_m + W_b} = \frac{27,66}{1027} = 0,027 \quad (4 \text{ rolos})$$

$$HP_{Total} = \frac{L \cdot S}{75} \left[K_T (K_x + K_y \cdot W_b + 0,015 W_b) + K_y \cdot W_m \right]$$

onde: K_T = 1,0 (temperatura ambiente sobre 0°C)

K_x = 2,8 kg/m (resistência dos rolos dos roletes a rotação)

Obtemos:

— Para rolete de 3 rolos iguais:

$$HP_{Total} = 3525 \text{ HP}$$

— Para rolete de 4 rolos iguais

$$HP_{Total} = 3145 \text{ HP}$$

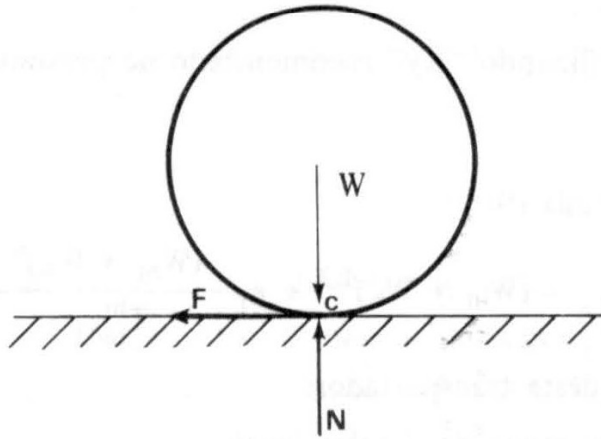


FIGURA 1

RODA SOBRE SUPERFICIE RIGIDA

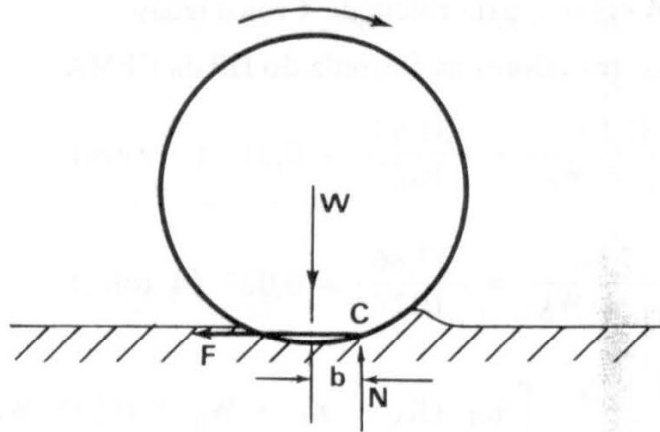


FIGURA 2

RODA SOBRE SUPERFICIE DEFORMÁVEL

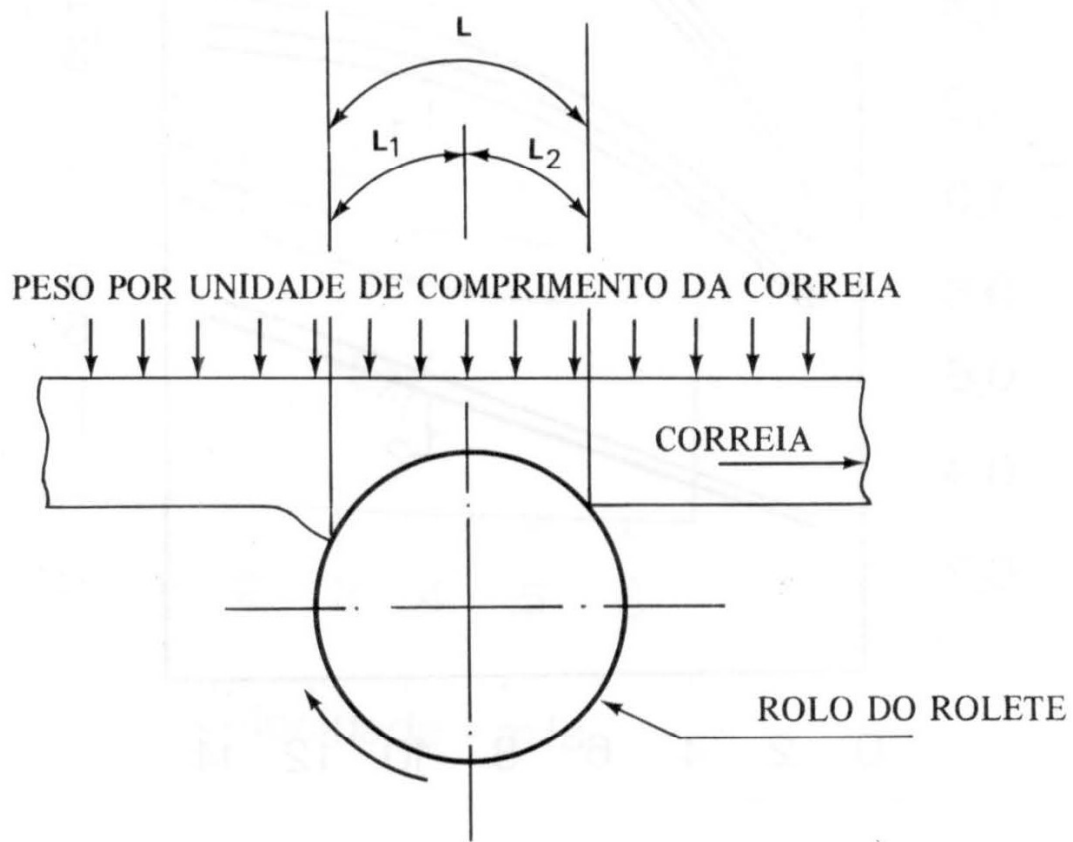


FIGURA 3

IMPRESSÃO DA CORREIA SOBRE O ROLETE

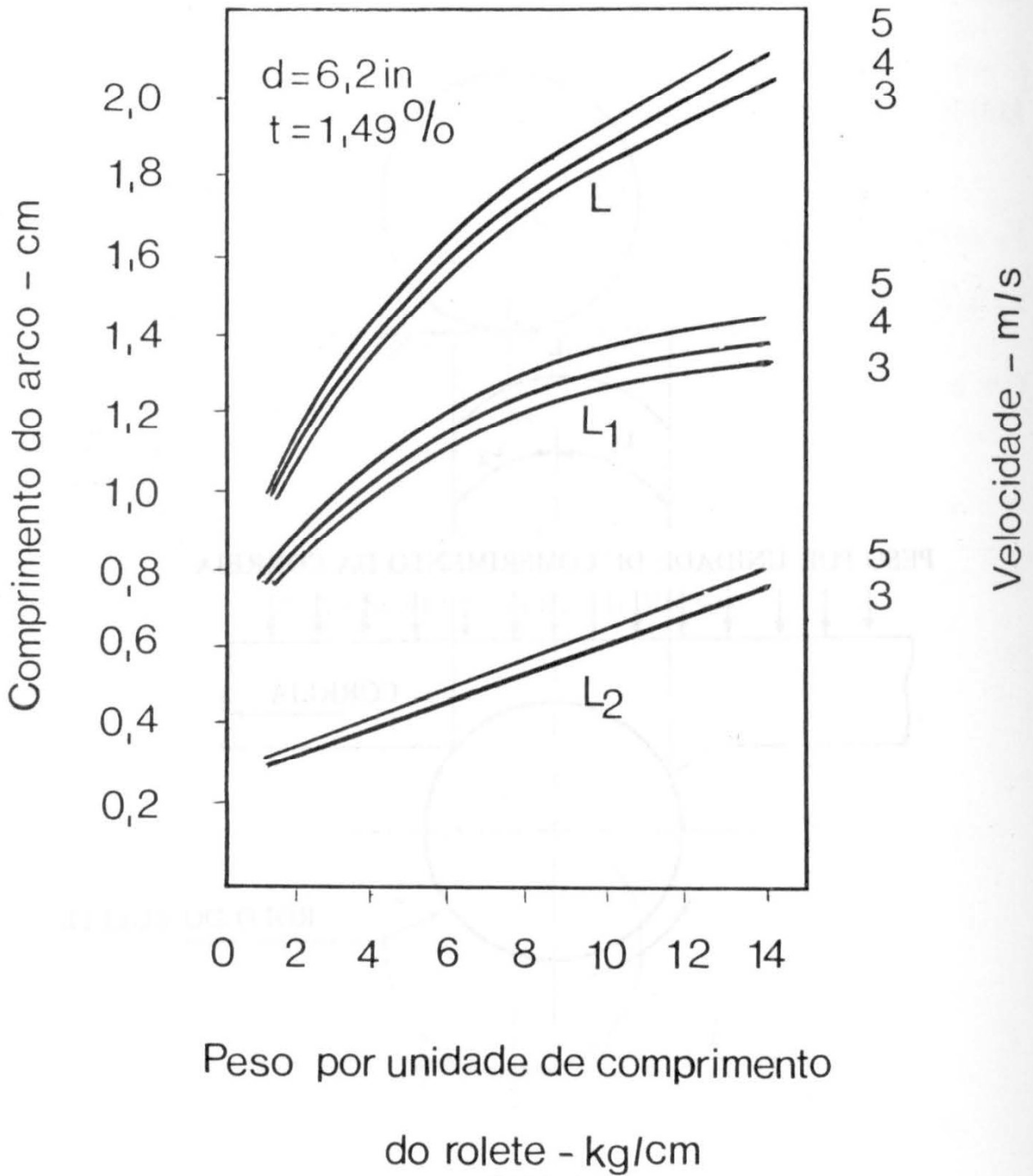


Fig. 4

Comprimentos totais e parciais do arco de contato em função da velocidade e peso unitário

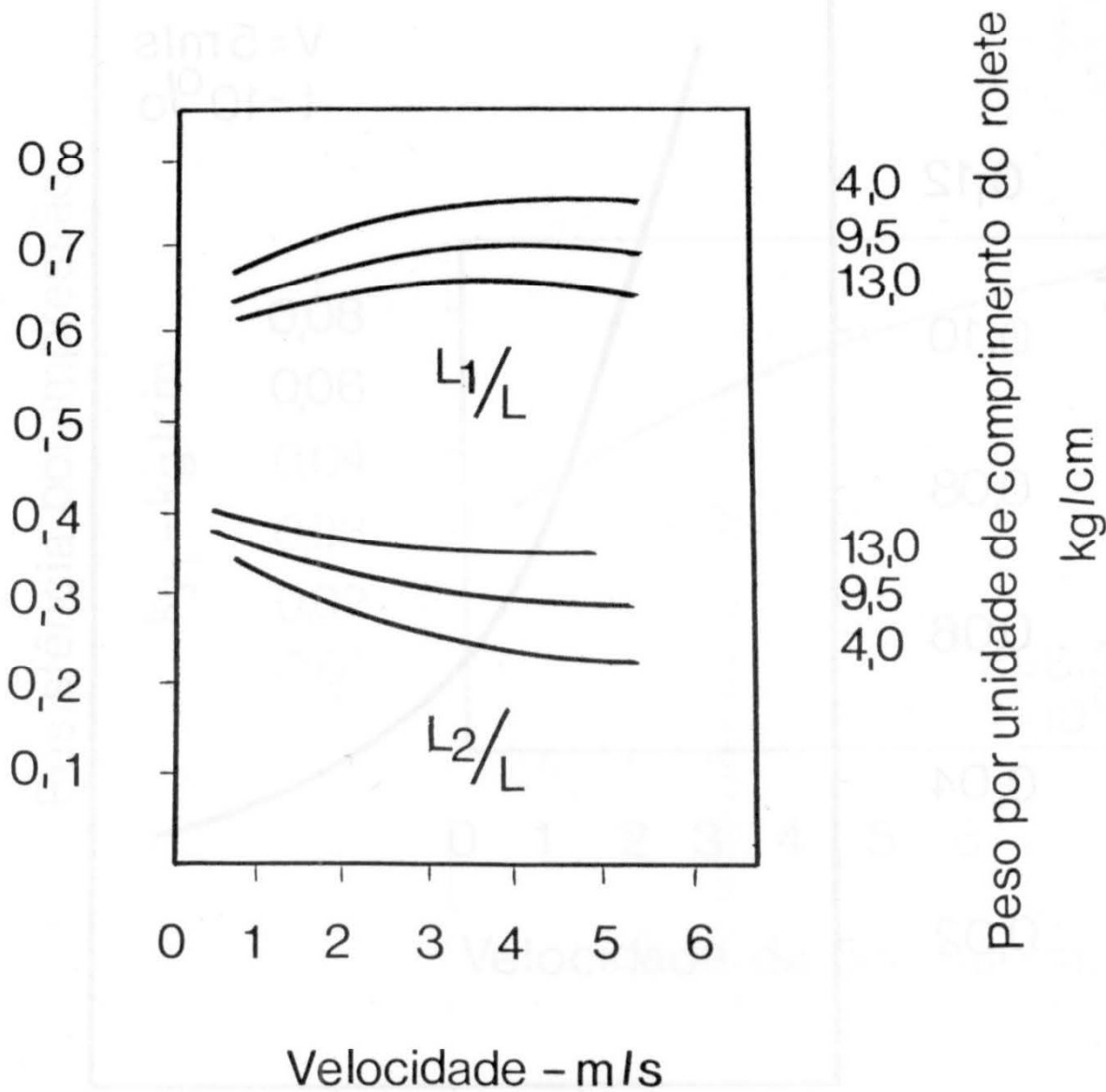
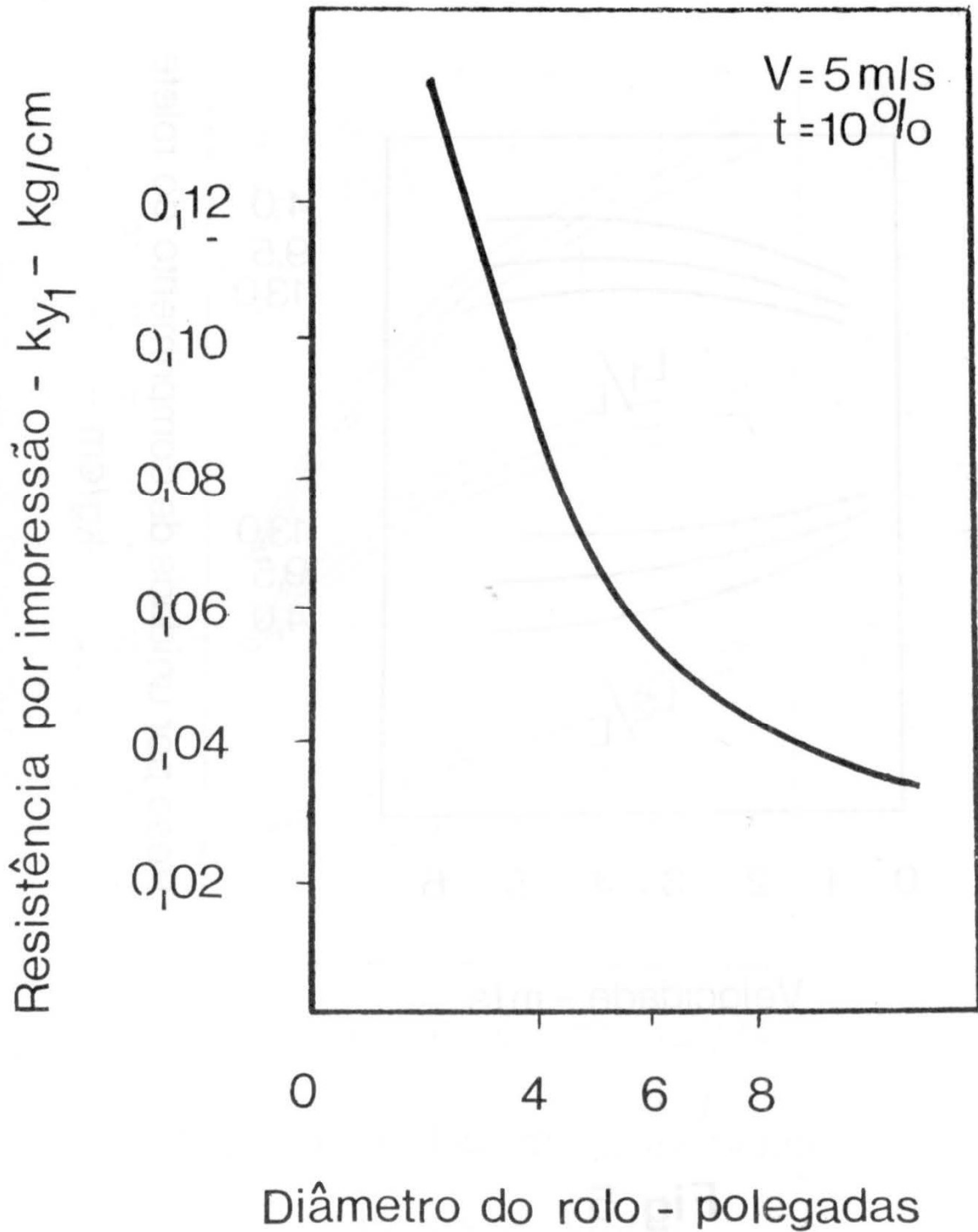
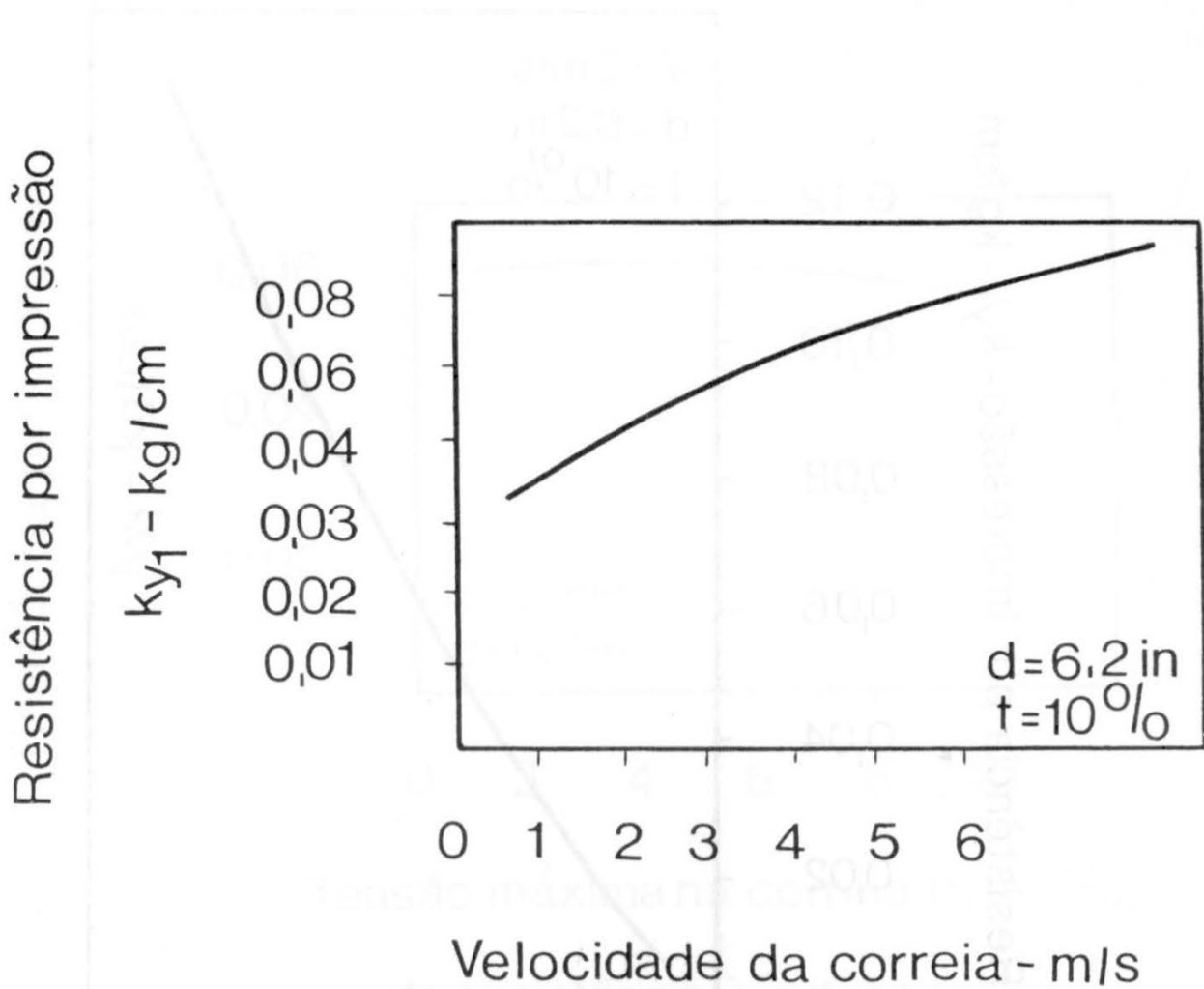


Fig. 5

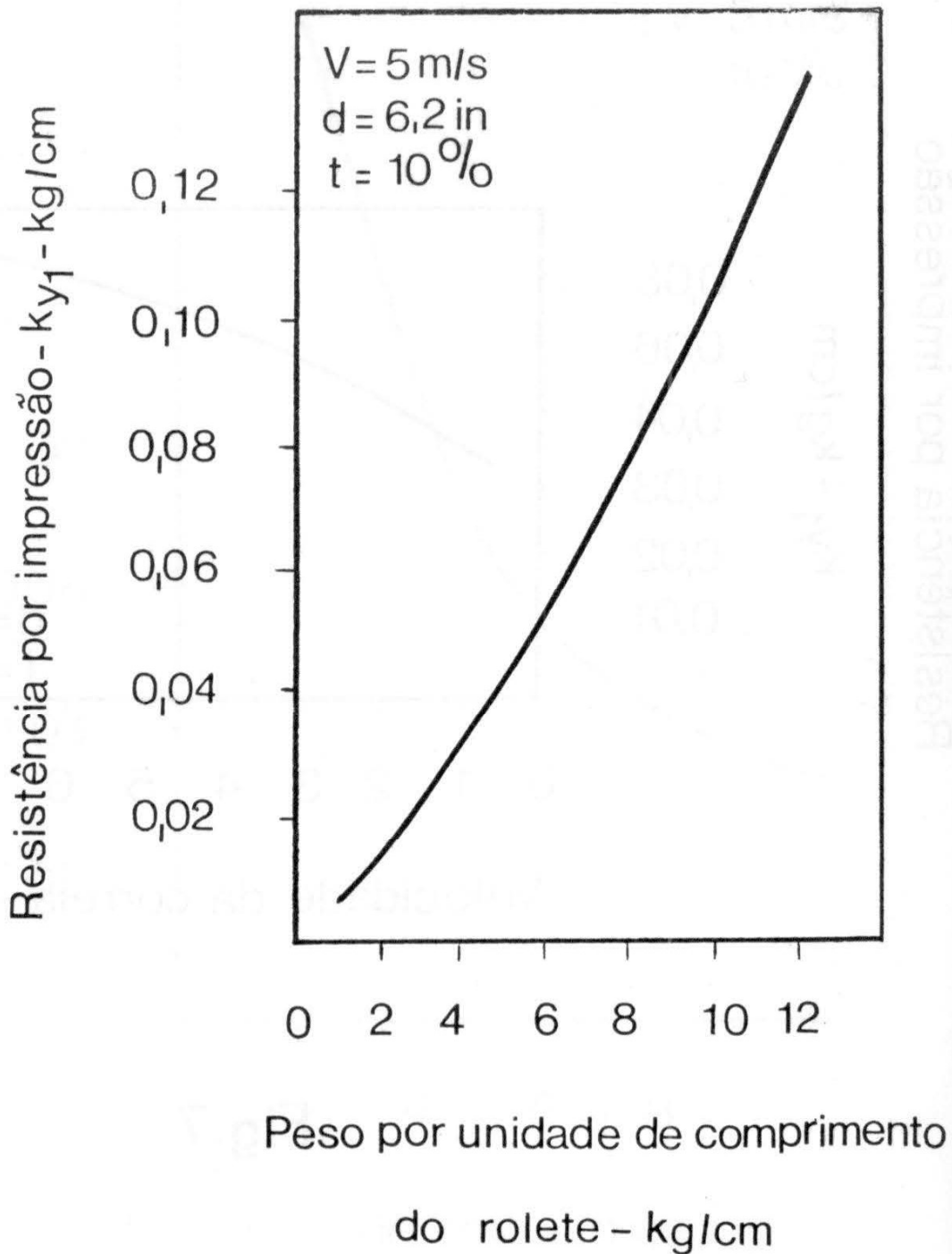
Proporção dos arcos de contato em função da velocidade e peso unitário

**Fig 6**

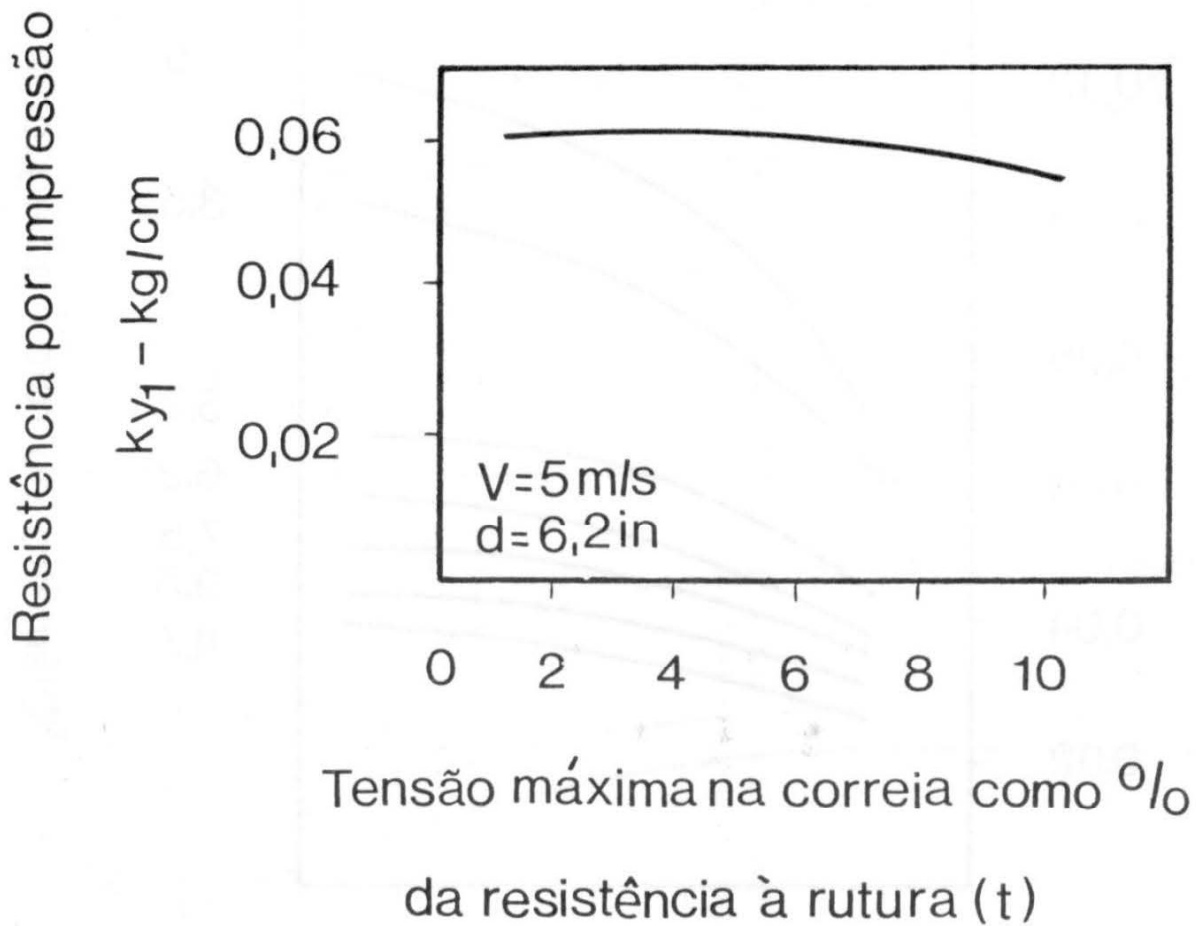
Resistência por impressão em função
do diâmetro do rolo

**Fig. 7**

Resistência por impressão em função
da velocidade da correia

**Fig 8**

Resistência por impressão em função do peso por unidade de comprimento do rolete

**Fig.9**

Variação da resistência por impressão em função da % de resistência à ruptura da correia

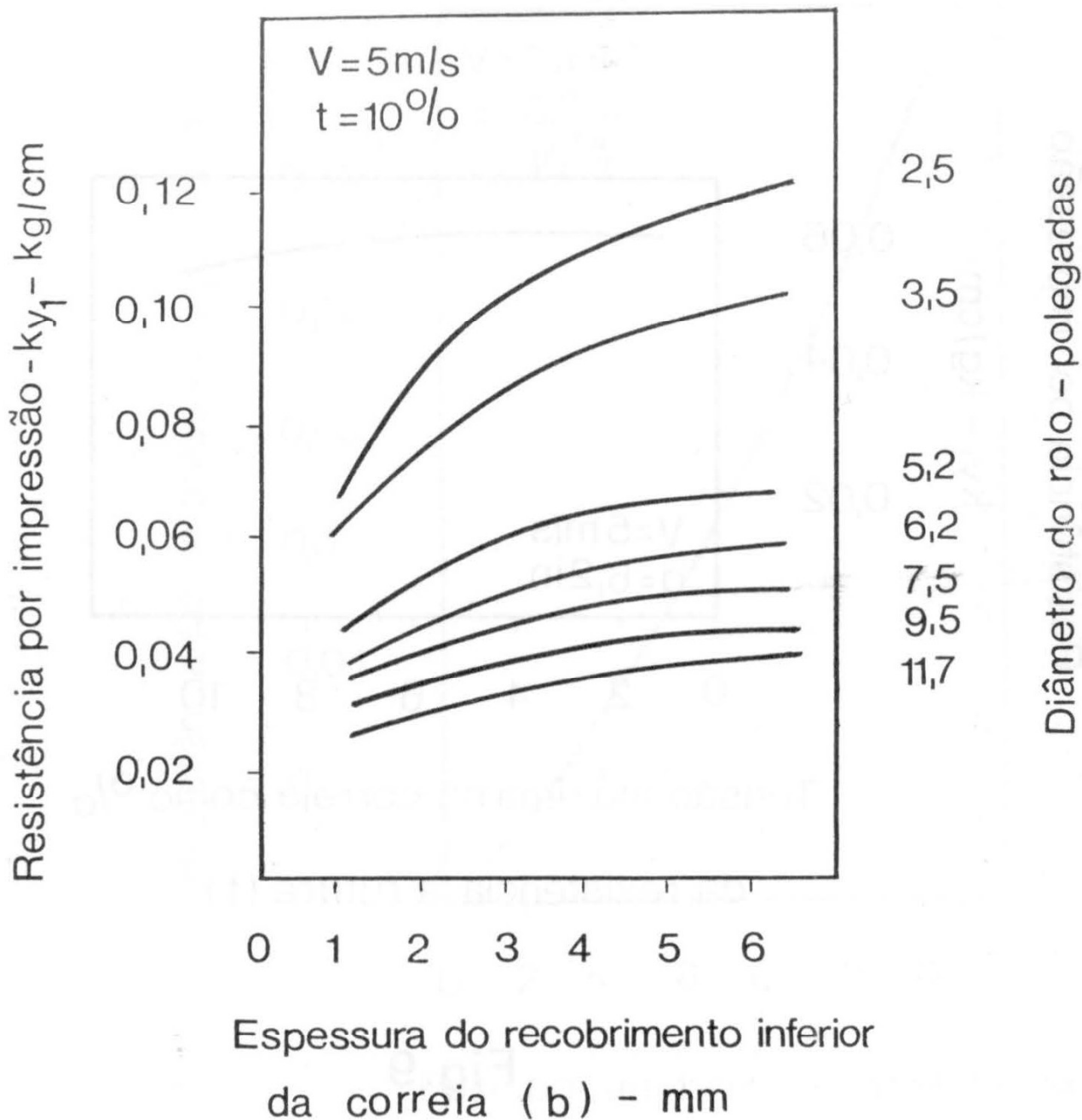
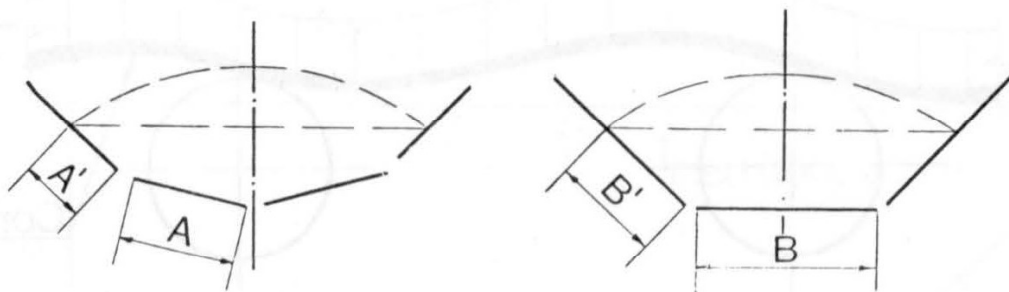


Fig.10

Resistência por impressão em função da espessura do recobrimento inferior da correia



Rolete típico com 4 rolos

Rolete típico com 3 rolos

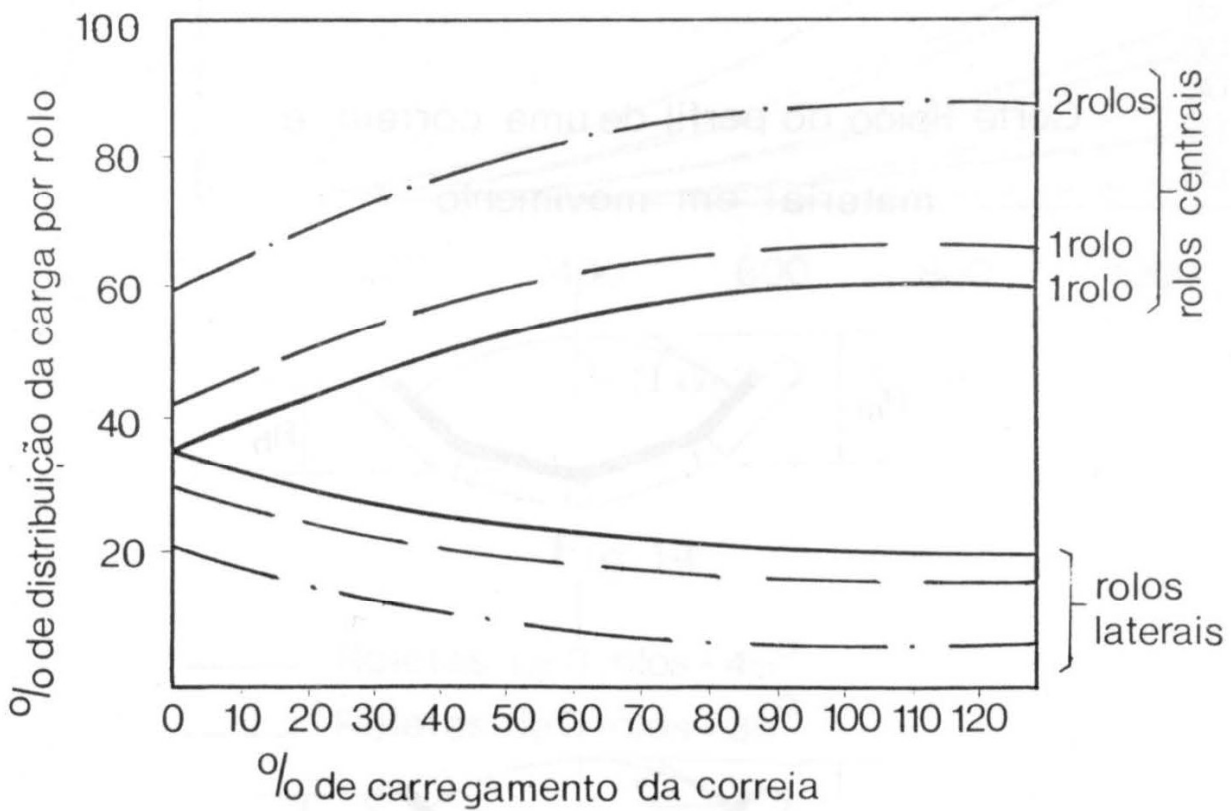


Fig.11

- Medido no campo (rolete de 3 rolos - 35°)
- - - Calculado (rolete de 3 rolos - 45°)
- . - Calculado (rolete de 4 rolos - 45°)

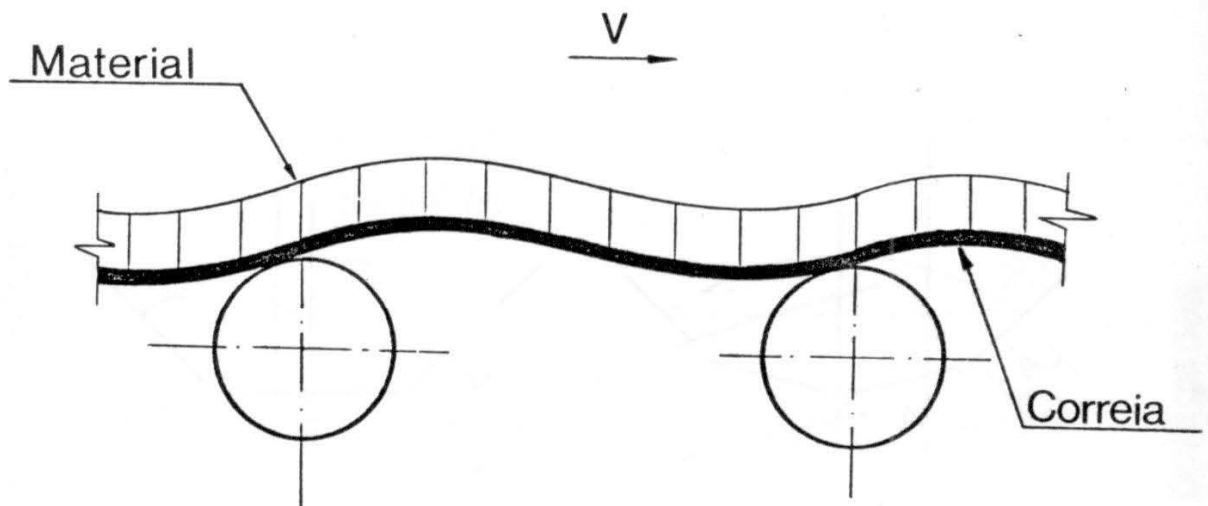


Fig.12

Corte típico do perfil de uma correia e material em movimento

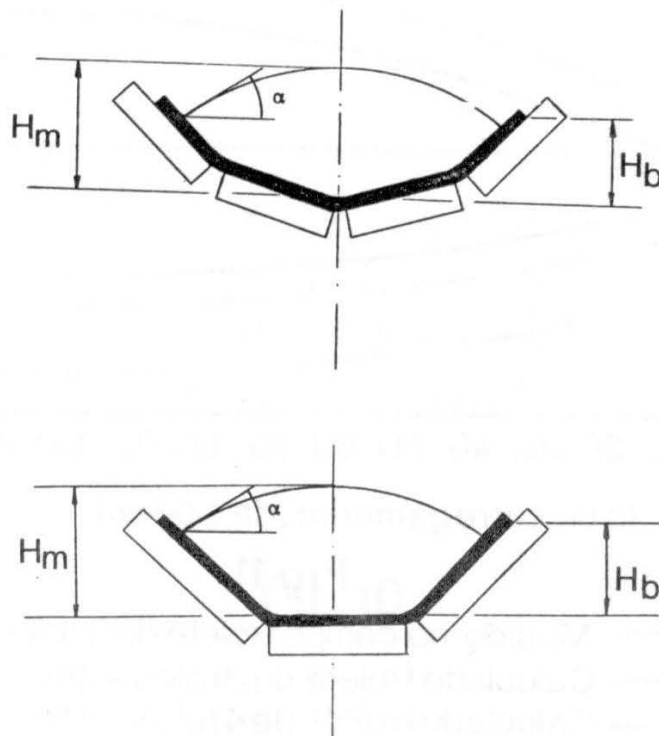


Fig.13

Geometria típica da correia e material sobre roletes de 4 e 3 rolos

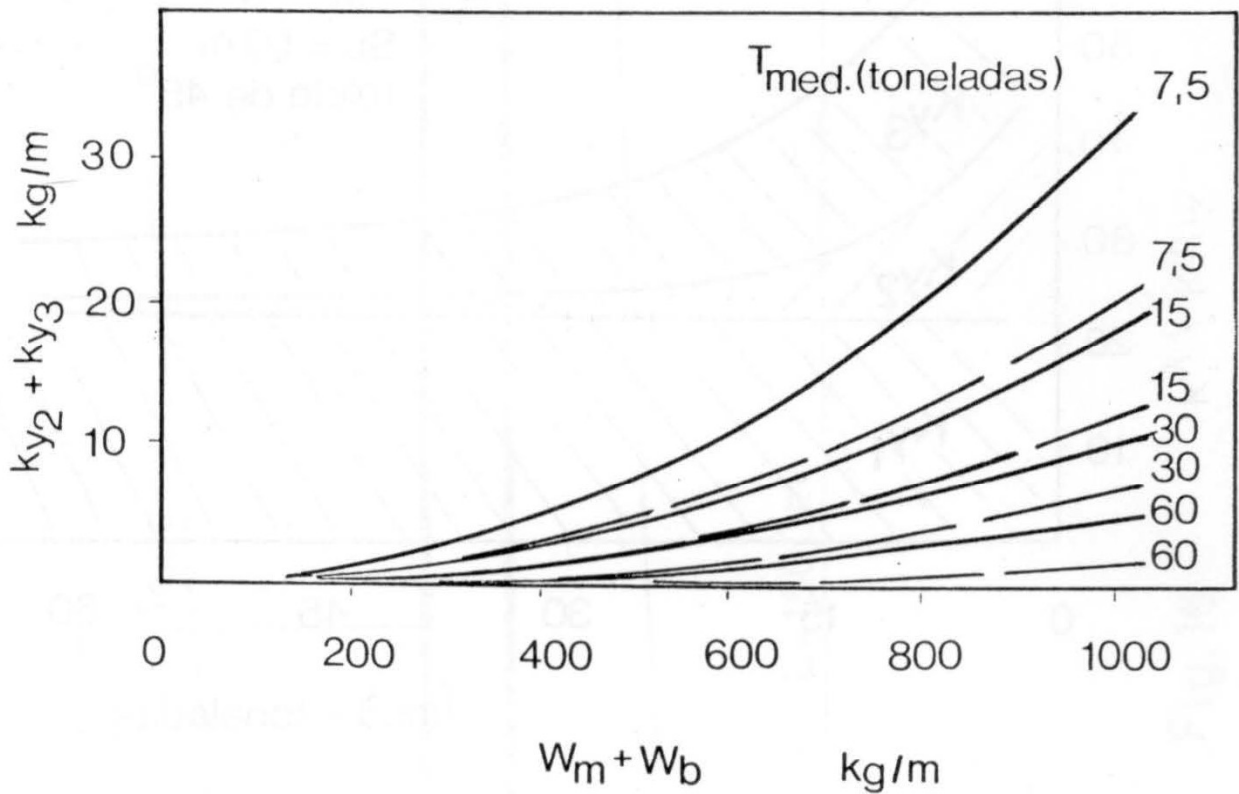


Fig. 14

- Roletes de 3 rolos - 45°
 - - - Roletes de 3 rolos - 30°

Influência do peso e da tensão na resistência ao movimento devido à flexão da correia e material

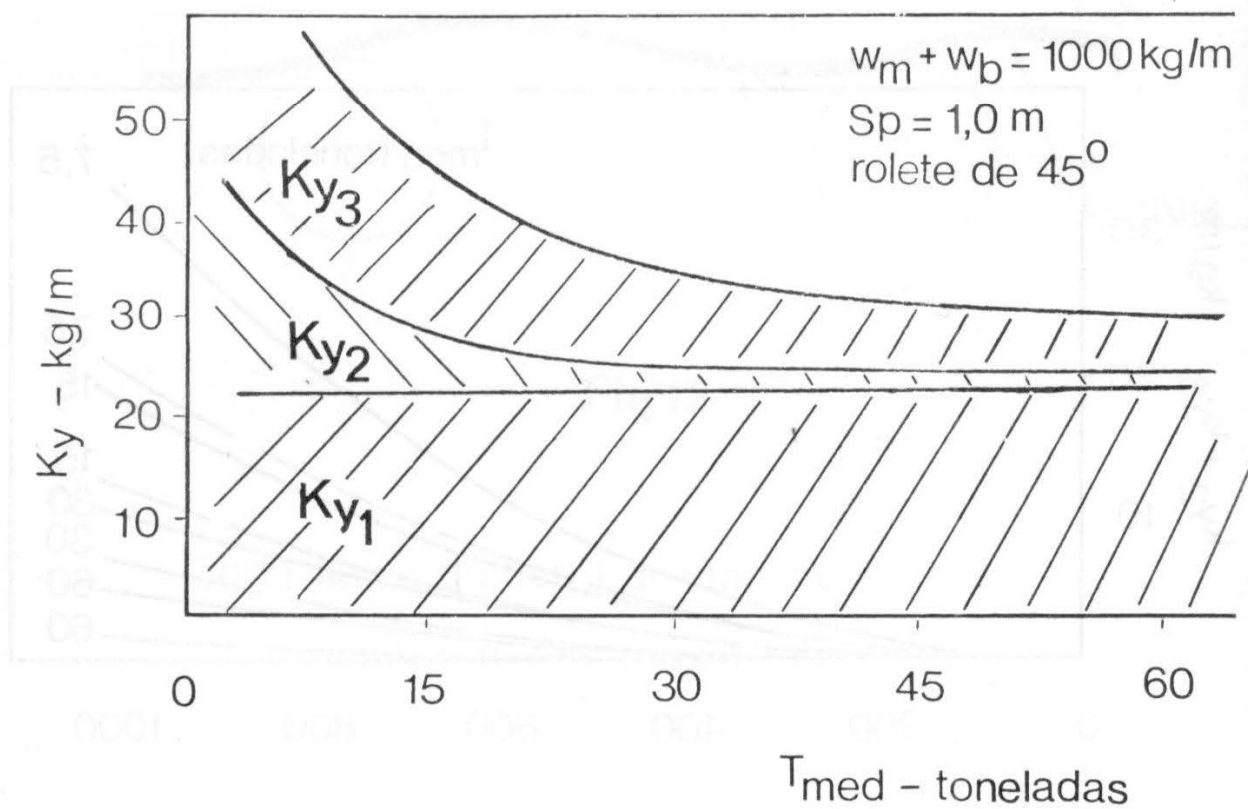


Fig. 15

- Ky_1 = Resistência à impressão
- Ky_2 = Resistência à flexão da correia
- Ky_3 = Resistência à flexão do material

Curva típica da variação da resistência ao movimento por atrito (Ky) em função da tensão média na correia

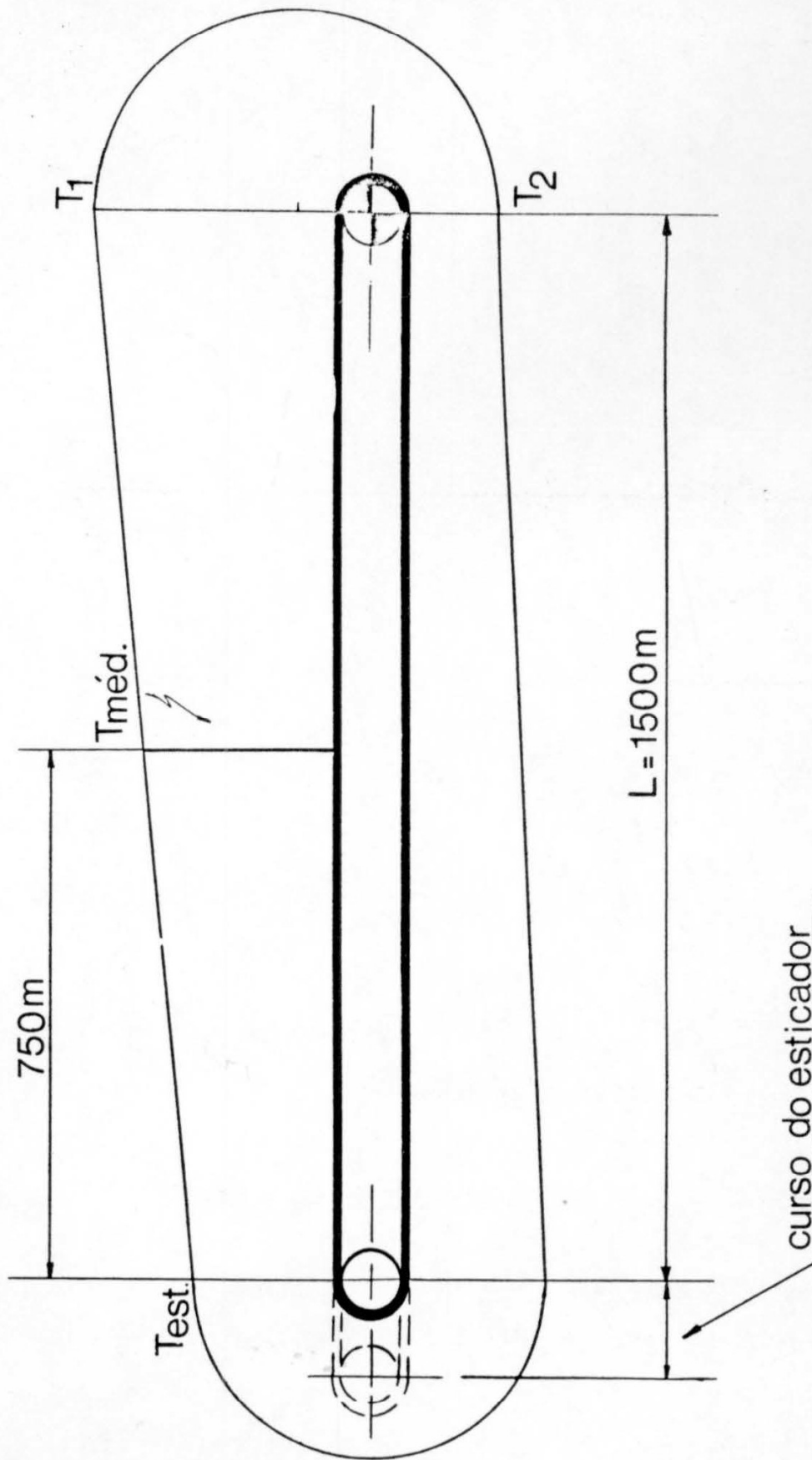


Fig.16