

SEM 0327 – Elementos de Máquinas III

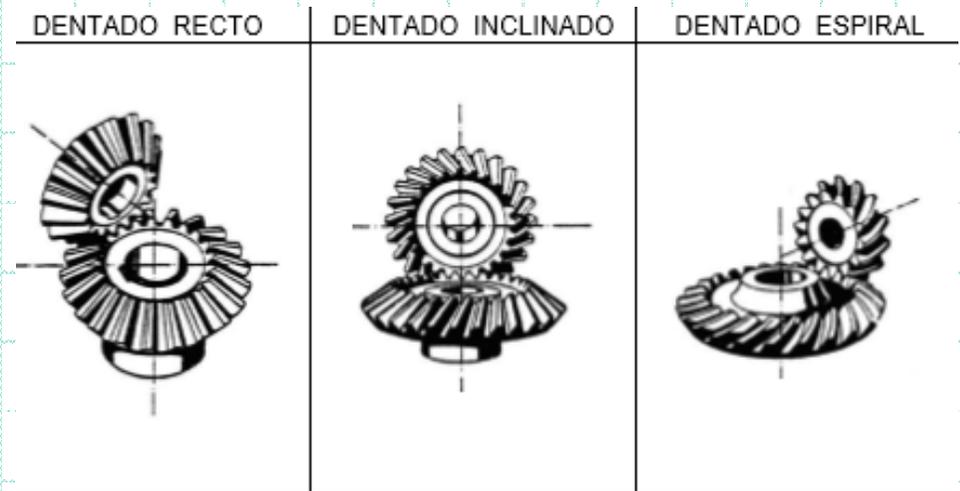
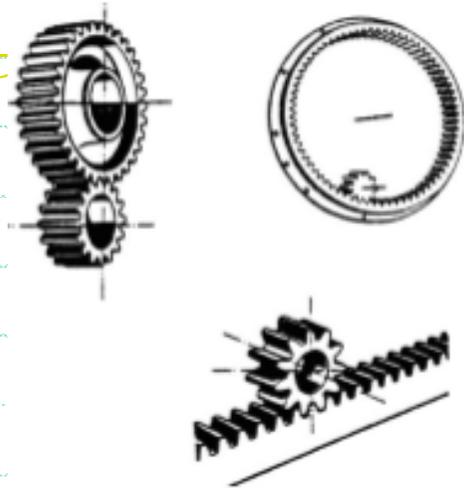
Transmissão flexível: correia/polia

Professora: Zilda de Castro Silveira

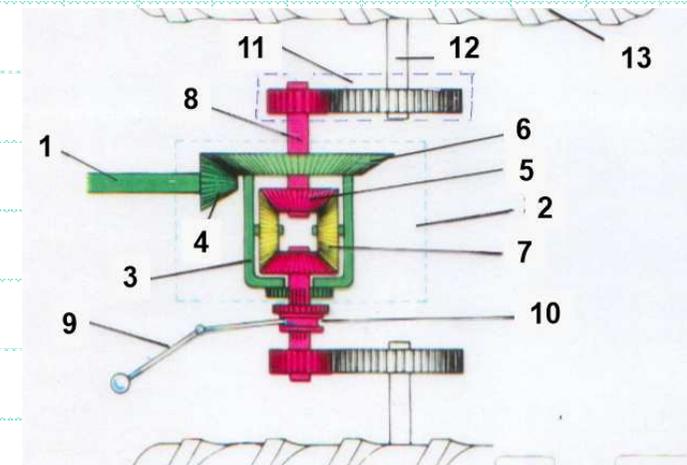
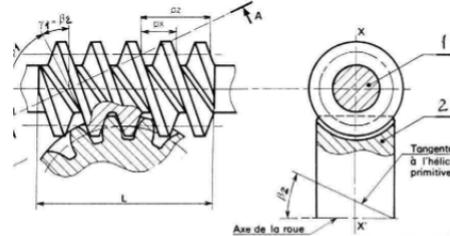
São Carlos, abril de 2019.

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão “exatas”

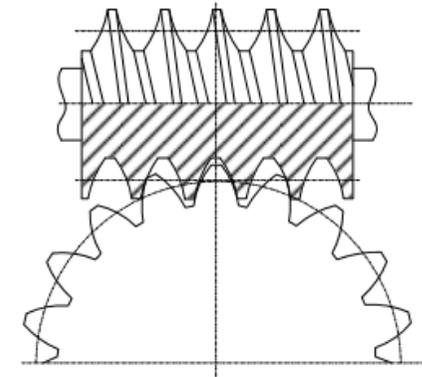
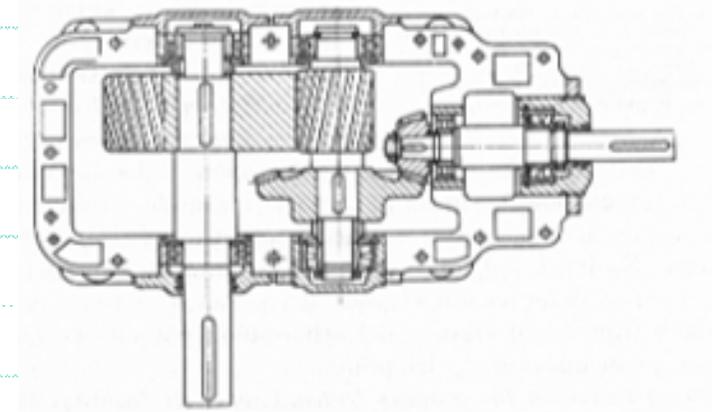
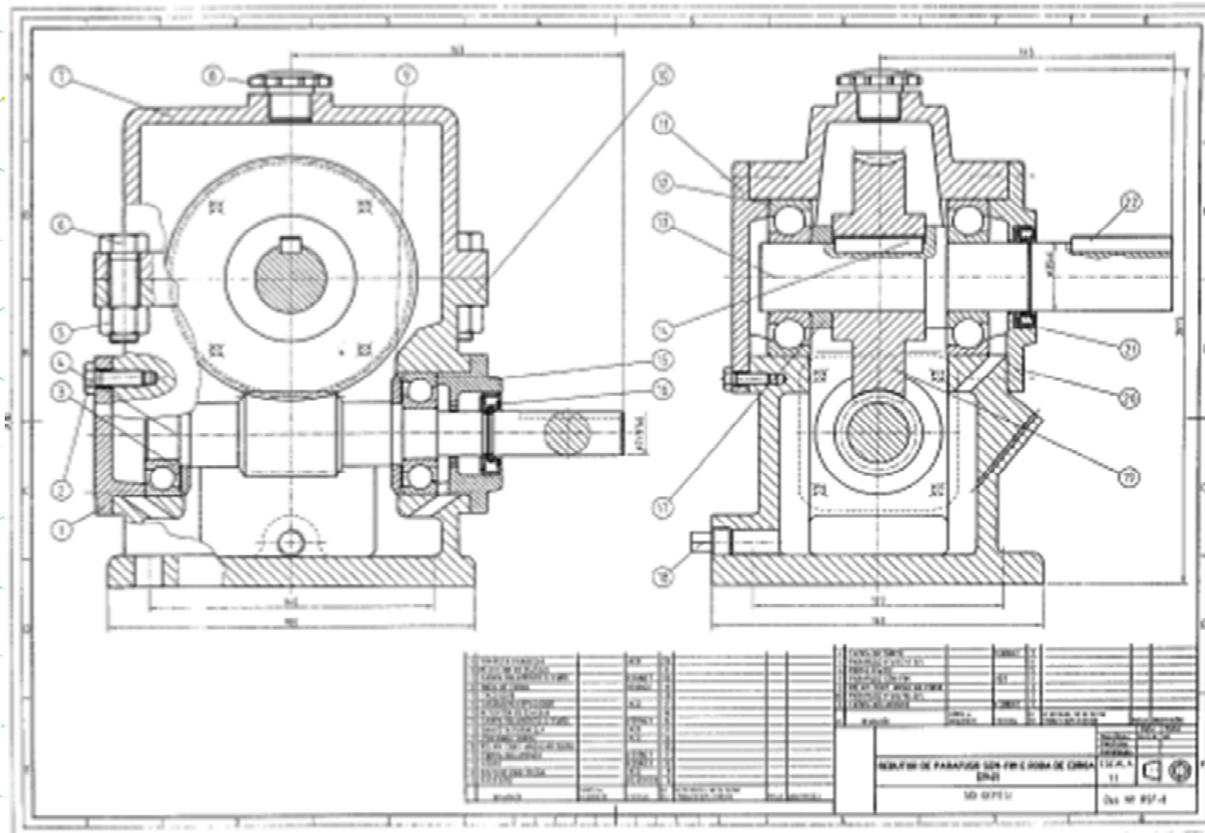


DIN 3976



A. Transmissões mecânicas: contexto geral

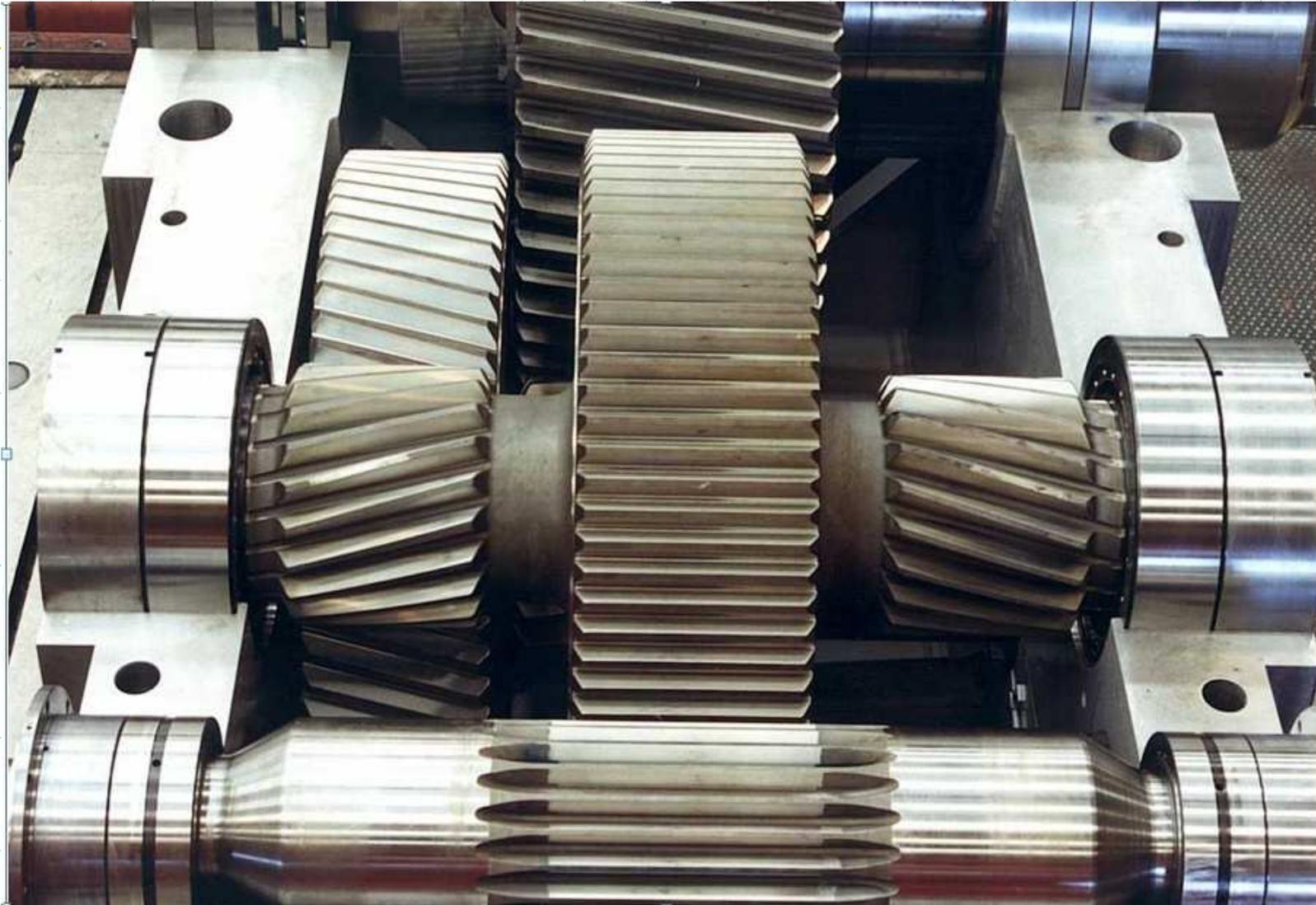
a.1 Transmissões com relações de transmissão “exatas”



Almacinha (2002) – Universidade do Porto, Portugal.

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão “exatas”



A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão “exatas”

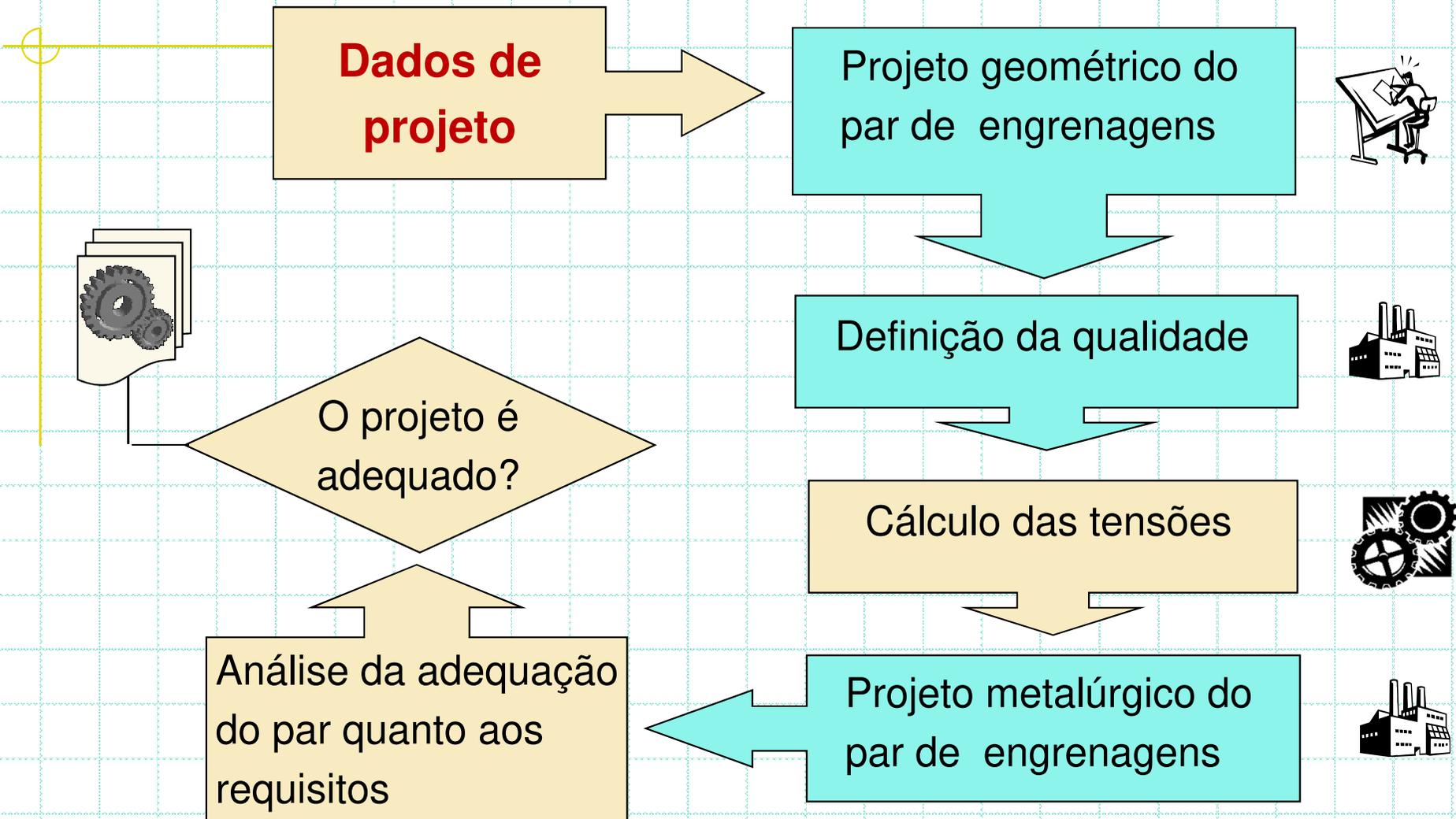
➤ Dados de entrada para de um sistema de redução ou ampliação por engrenagens.

- Grandeza da potência a ser transmitida: N
- Velocidade de rotação do pinhão (ou da coroa): n_1
- Relação de transmissão i ou velocidade do sistema acionado: n_2
- Vida útil desejada (materiais, lubrificação,...)



A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão “exatas”



A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

Dados de Projeto

- ❑ Relação de transmissão: ampliação ou redução;
- ❑ Potência a transmitir;
- ❑ Restrições geométricas: distância entre centros, larguras, diâmetros máximos;
- ❑ Aplicação do par de engrenagens (veículo);
- ❑ Vida requerida na aplicação. Ex. 500.000Km;
- ❑ Nível de ruído e qualidade sonora.

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão “exatas”

✓ Potência por eixo/par engrenagens

$$N_{i+1} = \eta_{mancais} \cdot \eta_{engrenamento} \cdot N_i$$

$$\eta_{mancais} \cong 0,98$$

$$\eta_{engrenamento} \cong 1 - \left(\frac{0,1}{z_{pinhão} \cdot \cos \beta} + \frac{0,03}{v + 2} \right)_i$$

β - ângulo de hélice e v - velocidade tangencial (m/s).

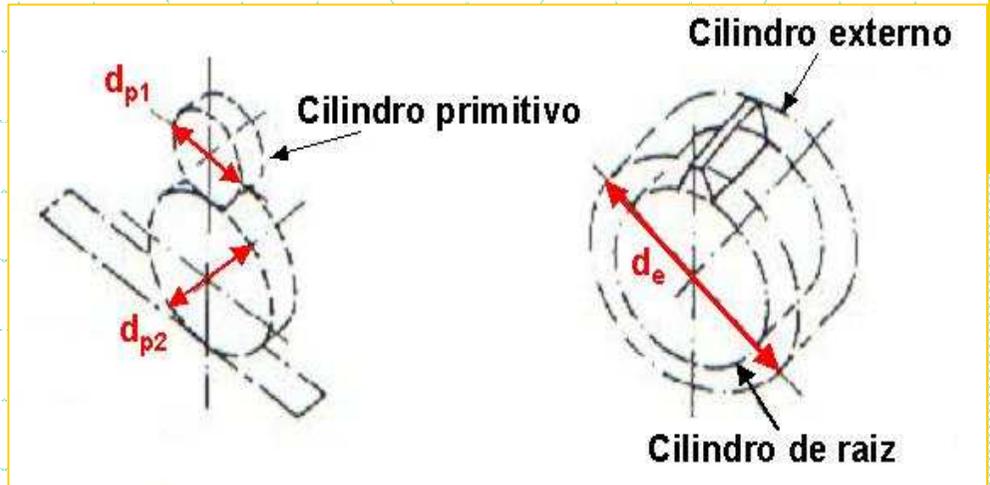


FIGURA 1

FIGURA 2

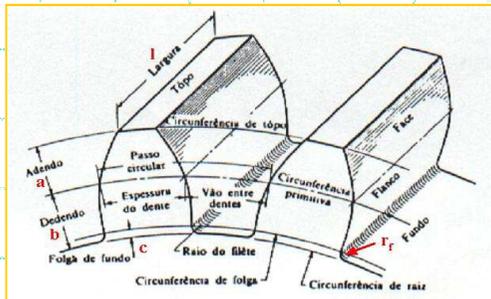


FIGURA 7

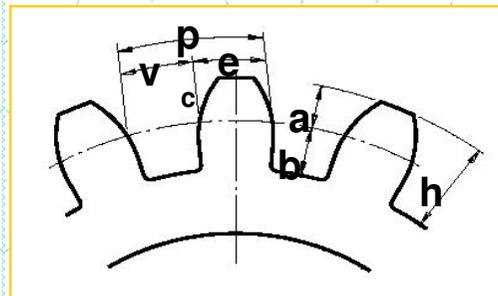


FIGURA 8

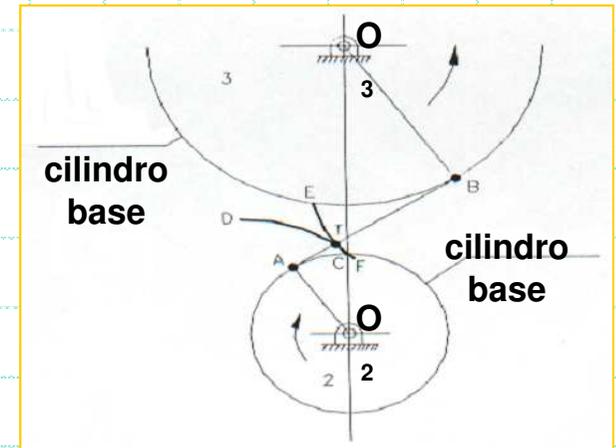


FIGURA 13

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão “exatas”

✓ Relação de Transmissão

Relação de transmissão i - $i_I = \frac{z_{I2}}{z_{I1}}$ de forma que $i_I > 1$ para reduções.

onde i_I é a relação de transmissão do primeiro par de engrenagens I e z_{I1} é o número de dentes da engrenagem 1 do par de engrenagens I.

✓ Distribuição das relações de transmissão

$$i_{total} = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{p2}}{d_{p1}}$$

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

✓ Distribuição das relações de transmissão

$$i_{total} = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n$$

- para um estágio i até 8 (6 para máquinas de mais precisão).
- para 2 estágios (2 pares de engrenagens ou 3 eixos) i até 45.
- para 3 estágios (3 pares ou 4 eixos) i até 200.
- i é regida pela aritmética de inteiros e portanto varia discretamente.

| | | | | |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| z_{I1} | 16 | 16 | 17 | 17 |
| z_{I2} | 39 | 40 | 37 | 38 |
| i | 2,4375 | 2,5000 | 2,1765 | 2,2353 |
| variação - | | +2,56 % | -10,71 % | -8,29 % |

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

- Ao escolher os z não os escolher como múltiplos, mesmo que i o permita, para evitar que um dente sempre engrene com o mesmo outro dente a cada volta. Por exemplo, se $i = 0,5$ escolher 17 e 35 o que dá um erro de -2,8%.
- No caso de projeto de redutores, o momento torçor (os esforços atuantes) crescem à medida que a rotação diminui. Também é possível provar que os esforços na engrenagem menor crescem quando i aumenta.
- Portanto é aconselhável adotar i decrescentes e aproveitar o momento torçor menor.
- Para distribuição de i temos duas alternativas:
 - * usar séries normalizadas de *Rénard* *
 - * usar números não normalizados.

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

Niemann (1971) propôs uma ordem de distribuição para distribuir as relações de transmissão (i_s):

$$i_{i+1} = i_i^{2/3}$$

▪ Para obter a relação total de engrenamento i_T , tem-se:

▶ para dois pares de engrenagem:

$$i_T = i_1 \cdot i_2 = i_1 \cdot i_1^{2/3} = i_1^{5/3}$$

$$\Rightarrow i_1 = i_T^{3/5}$$

obedecendo sempre redução máxima 6 e ampliação máxima $1/2$.

▶ para três pares de engrenagem:

$$i_T = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = i_1 \cdot i_1^{2/3} \cdot i_1^{4/9} = i_1^{19/9}$$

$$\Rightarrow i_1 = i_T^{9/19}$$

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

- Exemplo - Considerando uma redução total de $i_T = 27$:

- Considerando dois pares de engrenagens (3 eixos):

$$i_1 = i_T^{3/5} = (27)^{3/5} = 7,2246$$

$$i_2 = i_1^{2/3} = 7,2246^{2/3} = 3,7374$$

portanto o redutor teria : $27 = 7,2246 \cdot 3,7374$ mas a primeira redução é maior que a permitida.

- Considerando três pares de engrenagens (4 eixos):

$$i_1 = i_T^{9/19} = (27)^{9/19} = 4,7645$$

$$i_2 = i_1^{2/3} = 4,7645^{2/3} = 2,8313 \quad \text{e} \quad i_3 = i_2^{2/3} = 2,8313^{2/3} = 2,0013$$

portanto o redutor teria : $27 = 4,7645 \cdot 2,8313 \cdot 2,0013$

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

• **Exemplo** - Considerando $i_T = 27$:

• pelo mesmo motivo anterior devemos ter dentes mais robustos para os pares com maior M_t e adotamos para o redutor:

$$m_{i+1} = m_i \cdot \frac{i_i}{i_{i+1}}$$

no caso do exemplo anterior e 3 pares, se adotarmos $m_1 = 5$:

$$m_2 = 5 \cdot \frac{4,7645}{2,8313} = 8,41 \quad , \text{ adota - se } m_2 = 8, \quad \text{de acordo com DIN 7800}$$

$$m_3 = 8 \cdot \frac{2,8313}{2,0013} = 11,31 \quad , \text{ adota - se } m_3 = 11$$

• **esta distribuição de m dá o ajuste grosseiro nos cálculos de dimensionamento de engrenagens. O ajuste fino é obtido por meio da variação da largura do dente.**

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

□ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO

☑ MÓDULOS NORMAIS PADRONIZADOS Norma DIN 7800 [mm]

- são os módulos normais (m_n) dos cortadores :

0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,6 – 0,7 – 0,8 – 0,9 – 1,0

1,25 – 1,50 – 1,75 – 2,00 – 2,25 – 2,50 – 2,75 – 3,0 – 3,25 – 3,50 – 3,75 – 4,00

4,5 – 5,0 – 5,5 – 6,0 – 6,5 – 7,0

8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 – 17

18 – 20 – 22 – 24

27 – 30 – 33 – 36 – 39 – 42 – 45 – 50 – 55 – 60 – 65 – 70 – 75

☑ ÂNGULO DE PRESSÃO DO ENGRENAMENTO:

- (= ângulo de pressão do CORTADOR)

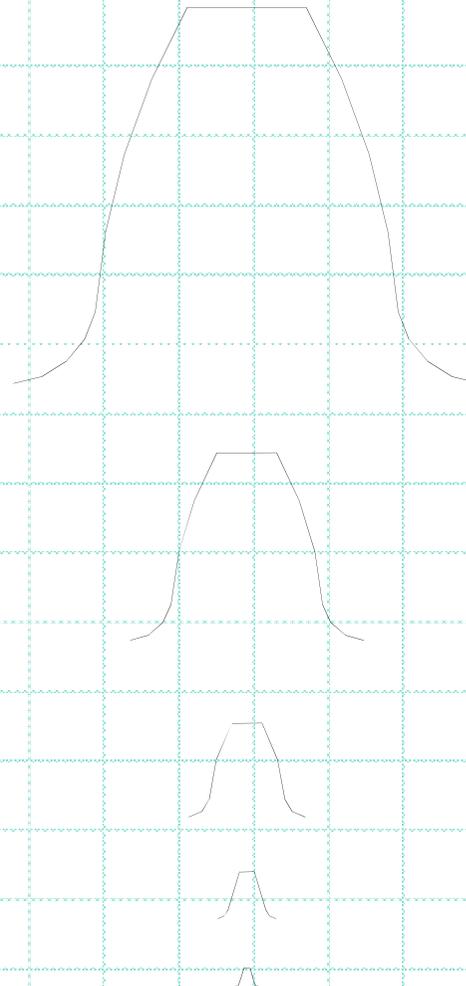
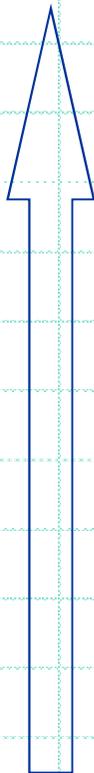
14,5° - 17,5° - 20° - 22,5° - 25°

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

□ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO

Módulo



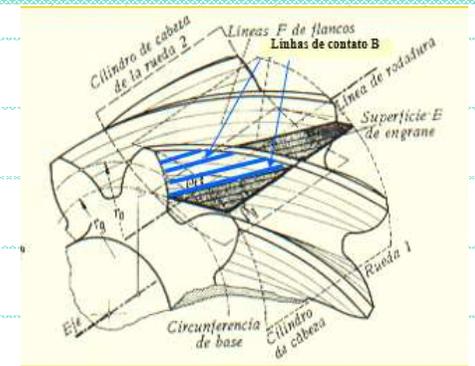
Módulos usados em transmissões

1,5 a 5 mm

A. Transmissões mecânicas: contexto geral

a.1 Transmissões com relações de transmissão discretas

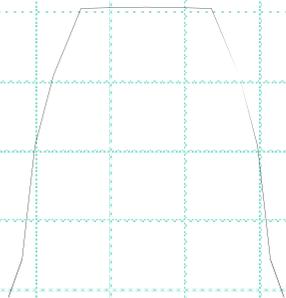
□ SISTEMAS PADRONIZADOS DE ENGRENAMENTO



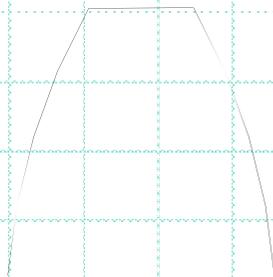
Ângulo de pressão:

Valores usados em transmissões:

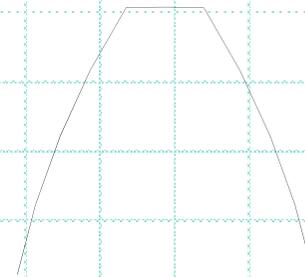
14°30' - 16° - 20° - 22°30' - 25°



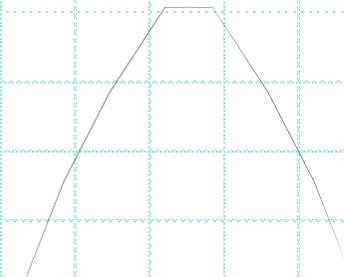
14°30'



20°



25°

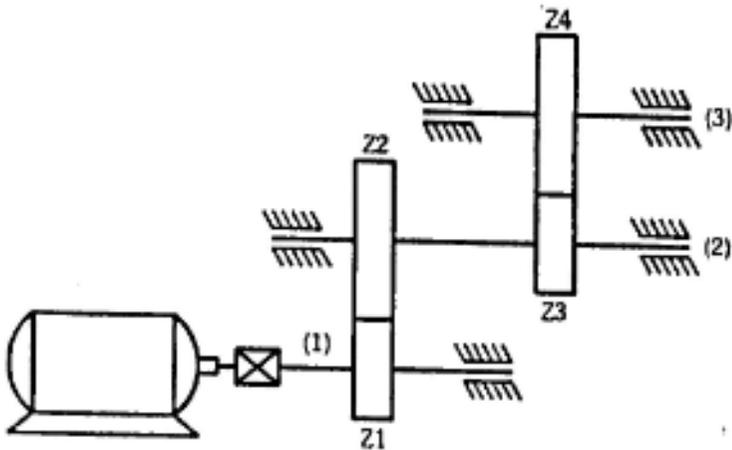


30°

A.2 Número de eixos/pares

✓ Considerando o redutor esquematizado abaixo, determine a rotação do eixo 3.

- Dados: $z_1 = 15$; $z_2 = 45$, $z_3 = 16$, $z_4 = 64$ e $n_1 = 1800$ rpm



$$i_t = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \quad \text{e} \quad i_t = \frac{n_1}{n_3}$$



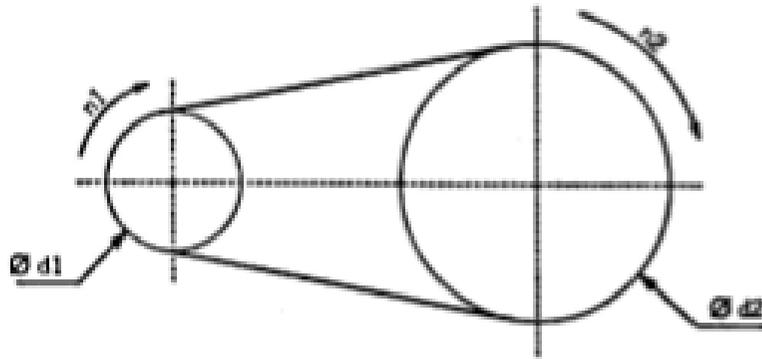
$$\frac{n_1}{n_3} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} = \frac{45}{15} \cdot \frac{64}{16} \Rightarrow \frac{n_1}{n_3} = 12$$

$$\text{Assim, } n_3 = \frac{n_1}{12} = \frac{1800}{12} \Rightarrow n_3 = 150 \text{ rpm}$$

A.3 Polia/Correia

✓ Dado o sistema de transmissão por polia e correia planas, determine a rotação da polia 2.

- Considere $d_1 = 70\text{mm}$ e $n_1 = 1800\text{ rpm}$ e, ainda $d_2 = 210\text{ mm}$.

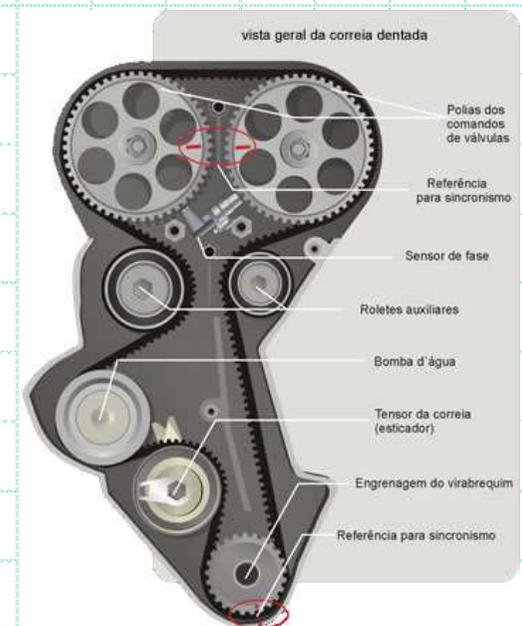
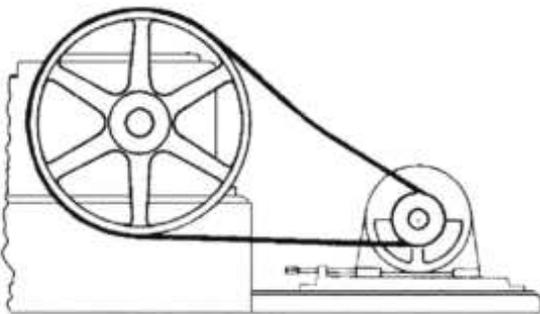


$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 d_1}{d_2}$$

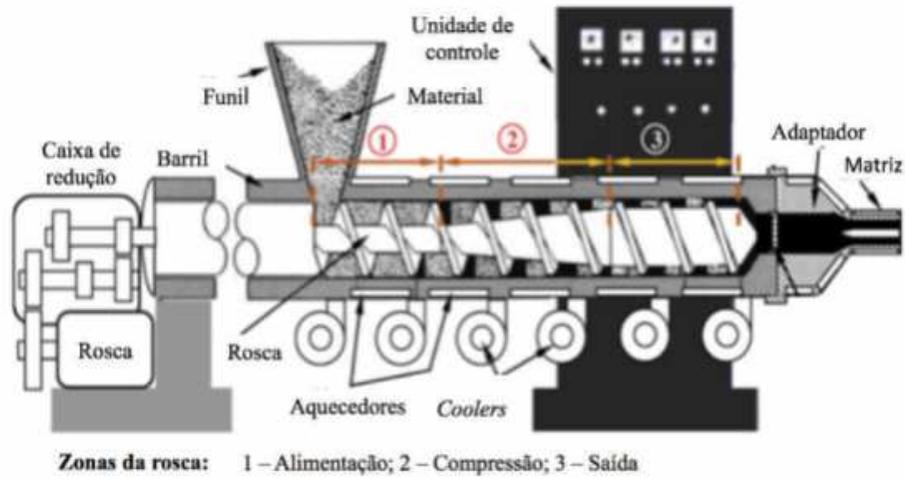
$$n_2 = 600\text{rpm}$$

1. Transmissões por correia: Definições

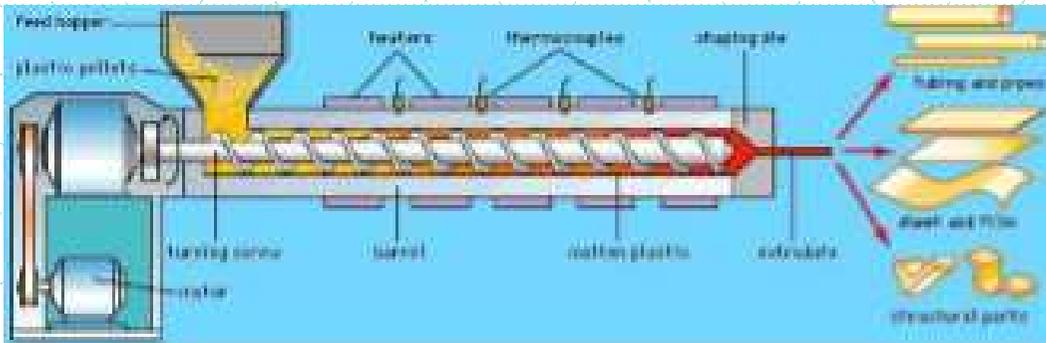
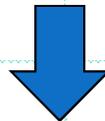
- ✓ Correias são elementos flexíveis que permitem transmissão de movimento de rotação entre par de polias*.



1. Transmissões por correia: Definições



Fonte: Traduzido de Abeykoon *et al* (2012).



1.1 Transmissões por correia: Vantagens e Desvantagens

Vantagens:

- ✓ Flexíveis e elásticas: adequadas para grandes distâncias entre centros dos eixos (paralelos ou reversos), com menor custo de montagem e manutenção;
- ✓ Melhor posicionamento entre os elementos motrizes e as máquinas;
- ✓ Simplificação do projeto e menor custo (instalação e manutenção);
- ✓ Absorção de carga de impacto;
- ✓ Amortecimento e isolamento de vibrações. (Transmissão mais silenciosa e vida útil do equipamento)

1.1 Transmissões por correia: Vantagens e desvantagens

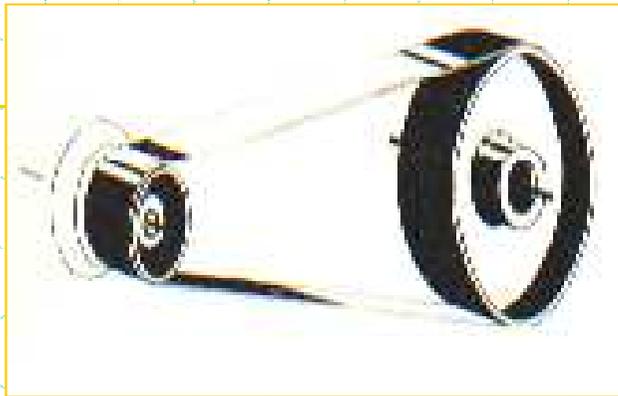
Desvantagens (Niemann, vol. III) :

- ✓ Capacidade de transmissão de potência limitada pelo μ e pela pressão de contato entre a correia e a polia (exceto correias sincronizadoras);
- ✓ Grandes dimensões;
- ✓ Escorregamento de a 1 a 2% (melhorada com aplicação correta de pré-tensão, para correias com seção plana e redonda) e efeitos do *creep*;

Características de projeto (Niemann, vol. III):

- ✓ Rendimento de até 98%;
- ✓ Transmissão de potência por meio do atrito entre a correia e o perfil da polia;
- ✓ Potência elevada (2000 CV) e rotações médias e altas até 18.000 rpm, com relação de transmissão de até 1:6*;

1.2 Transmissões por correia: Formas construtivas



a) correia plana



b) correia plana*



c) correia Poli- "V"



d) correia dentada

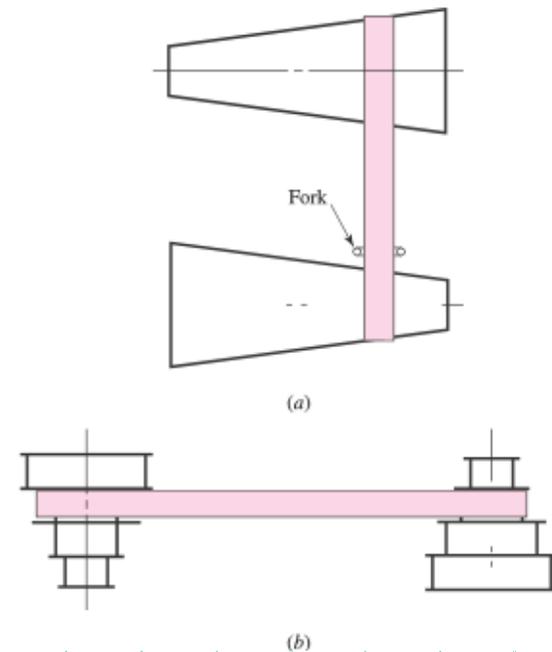
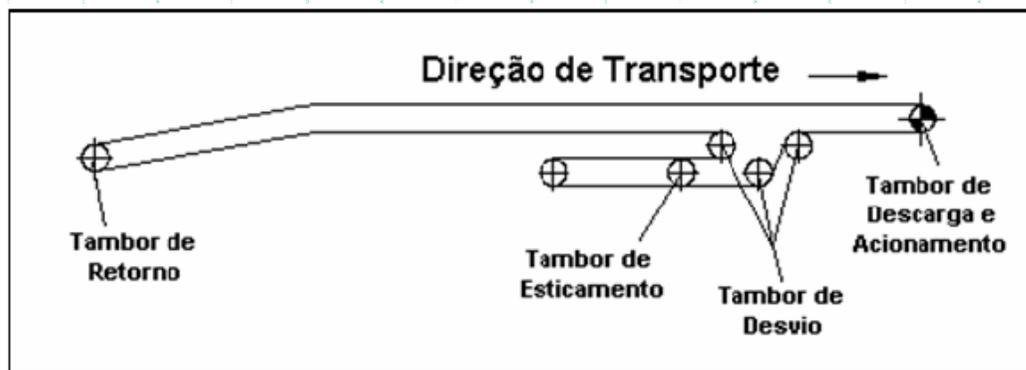


a') eixos reversos



a'') inversão

1.2 Transmissões por correia: Formas construtivas



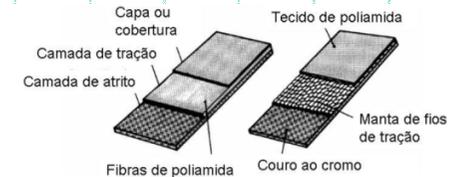
NBR 6172 (1995): relação entre as correias e larguras do tambor (dimensões padronizadas)

1.3 Transmissões por correia: materiais e aplicações

- ✎ Cordonéis de fibra de algodão embutidos em uma matriz de borracha natural;
 - Novos materiais (maior resistência e rigidez) --- uso de borrachas sintéticas.

1) Elementos de tração

- Correias planas: tiras de poliamida ou cordonéis de poliéster;
- Correias poli V: cordonéis de poliéster ou aramida;
- Correias em "V": fibras de vidro, poliéster e aramida (carga elevada);
- Correias sincronizadoras: cordões de fibra de vidro e de aço.



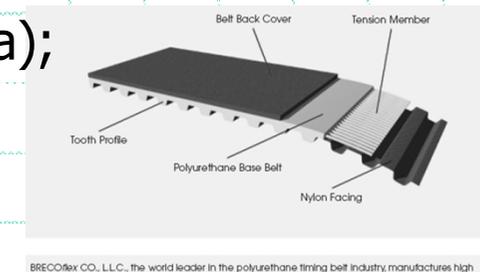
2) Matriz

Borracha sintética: (Policloropreno) **Neoprene®** (resistente ao calor e óleo); **Poliuretano** (para correias planas, como camada de atrito).

3) Revestimento

Tecido de algodão ou de poliamida, impregnados com borracha sintética.

Polias: FoFo, aços, ligas leves.



1.4 Correias planas

□ É o tipo de correia mais simples, e com menor custo.

✓ Indicações: velocidades de operação elevada, com baixa transmissão de torque.

- Em serviço, não há transmissão integral da potência (escorregamento);
- Velocidades médias: 4000 ft/min (20,3 m/s)
- Velocidades muito baixas: deve-se aumentar a largura da correia (prejudica o alinhamento entre eixos e polias (eleva o envelope de trabalho, dimensionamento do eixo e capacidade de carga do mancal).
- Velocidade muito altas: forças dinâmicas (“chicoteamento”) reduz a estabilidade da transmissão e a vida útil da correia.

Aplicações: transportadoras têxteis, máquinas de fabricação de papéis, transporte e processamento de materiais, indústria alimentícia.

1.4 Correias planas

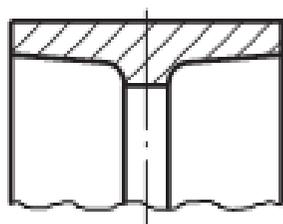
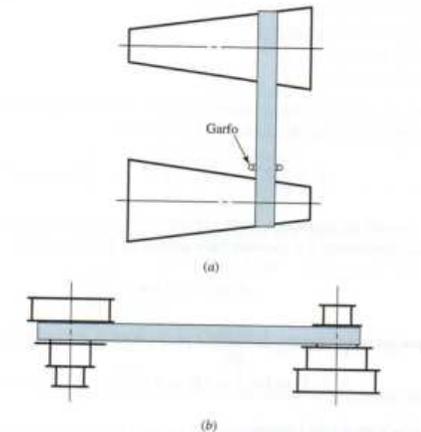
✓ **DIN 111 – a superfície da polia pode ser plana ou abaulada.**

➤ **Plana – melhor conservação da correia;**

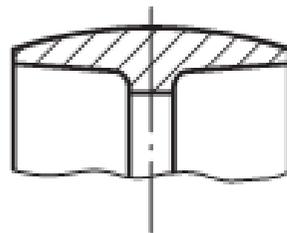
➤ **Abaulada – melhor guia das correias.**

➤ **Faixa de potência – 0,5 a 300 CV**

* **Velocidades da correia acima de 25 m/s deve-se balancear o sistema;**



polia plana



polia abaulada



1.4 Correias planas

Tabela 17-2 Propriedades de alguns materiais de correia plana e redonda. (Diâmetro = d , espessura = t , largura = w)

| Material | Especificação | Tamanho, in | Diâmetro mínimo de polia, in | Tensão admissível por unidade de largura a 600 ft/min, lbf/in | Peso específico, lbf/in ³ | Coefficiente de fricção |
|------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Couro | 1 camada | $t = \frac{11}{64}$ | 3 | 30 | 0,035-0,045 | 0,4 |
| | | $t = \frac{13}{64}$ | $3\frac{1}{2}$ | 33 | 0,035-0,045 | 0,4 |
| | 2 camadas | $t = \frac{18}{64}$ | $4\frac{1}{2}$ | 41 | 0,035-0,045 | 0,4 |
| | | $t = \frac{20}{64}$ | 6° | 50 | 0,035-0,045 | 0,4 |
| | | $t = \frac{23}{64}$ | 9° | 60 | 0,035-0,045 | 0,4 |
| Poliamida ^b | F-0 ^c | $t = 0,03$ | 0,60 | 10 | 0,035 | 0,5 |
| | F-1 ^c | $t = 0,05$ | 1,0 | 35 | 0,035 | 0,5 |
| | F-2 ^c | $t = 0,07$ | 2,4 | 60 | 0,051 | 0,5 |
| | A-2 ^c | $t = 0,11$ | 2,4 | 60 | 0,037 | 0,8 |
| | A-3 ^c | $t = 0,13$ | 4,3 | 100 | 0,042 | 0,8 |
| | A-4 ^c | $t = 0,20$ | 9,5 | 175 | 0,039 | 0,8 |
| | A-5 ^c | $t = 0,25$ | 13,5 | 275 | 0,039 | 0,8 |
| | Uretano ^d | w = 0,50 | $t = 0,062$ | Veja a | 5,2° | 0,038-0,045 |
| w = 0,75 | | $t = 0,078$ | Tabela | 9,8° | 0,038-0,045 | 0,7 |
| w = 1,25 | | $t = 0,090$ | 17-3 | 18,9° | 0,038-0,045 | 0,7 |
| Redonda | | $d = \frac{1}{4}$ | Veja a | 8,3° | 0,038-0,045 | 0,7 |
| | | $d = \frac{3}{8}$ | Tabela | 18,6° | 0,038-0,045 | 0,7 |
| | | $d = \frac{1}{2}$ | 17-3 | 33,0° | 0,038-0,045 | 0,7 |
| | | $d = \frac{3}{4}$ | | 74,3° | 0,038-0,045 | 0,7 |

^a Adicionar 2 in a tamanhos de polia para correias de largura de 8 in ou mais.

^b Fonte: Habasit Engineering Manual, Habasit Belting, Inc., Chamblee (Atlanta), Ga.

^c Cobertura de fricção de borracha acrilonitrila-butadieno em ambos os lados.

^d Fonte: Eagle Beltina Co. Des Plaines, Ill.

Fonte: Shigley, *et. al*, 2006

1.4 Correias planas

Tabela 17-3 Tamanhos mínimos de polia para correias de uretano plana e redonda. (Os diâmetros de polia em polegadas estão listados)

| Estilo de correia | Tamanho de correia, in | Razão da velocidade de polia pelo comprimento de correia rev/(ft • min) | | |
|-------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|
| | | Até 250 | 250 a 499 | 500 a 1000 |
| Plana | 0,50 x 0,062 | 0,38 | 0,44 | 0,50 |
| | 0,75 x 0,078 | 0,50 | 0,63 | 0,75 |
| | 1,25 x 0,090 | 0,50 | 0,63 | 0,75 |
| Redonda | $\frac{1}{4}$ | 1,50 | 1,75 | 2,00 |
| | $\frac{3}{8}$ | 2,25 | 2,62 | 3,00 |
| | $\frac{1}{2}$ | 3,00 | 3,50 | 4,00 |
| | $\frac{3}{4}$ | 5,00 | 6,00 | 7,00 |

Fonte: Eagle Belting Co., Des Plaines, Ill.

Fonte: Shigley, et. al, 2006

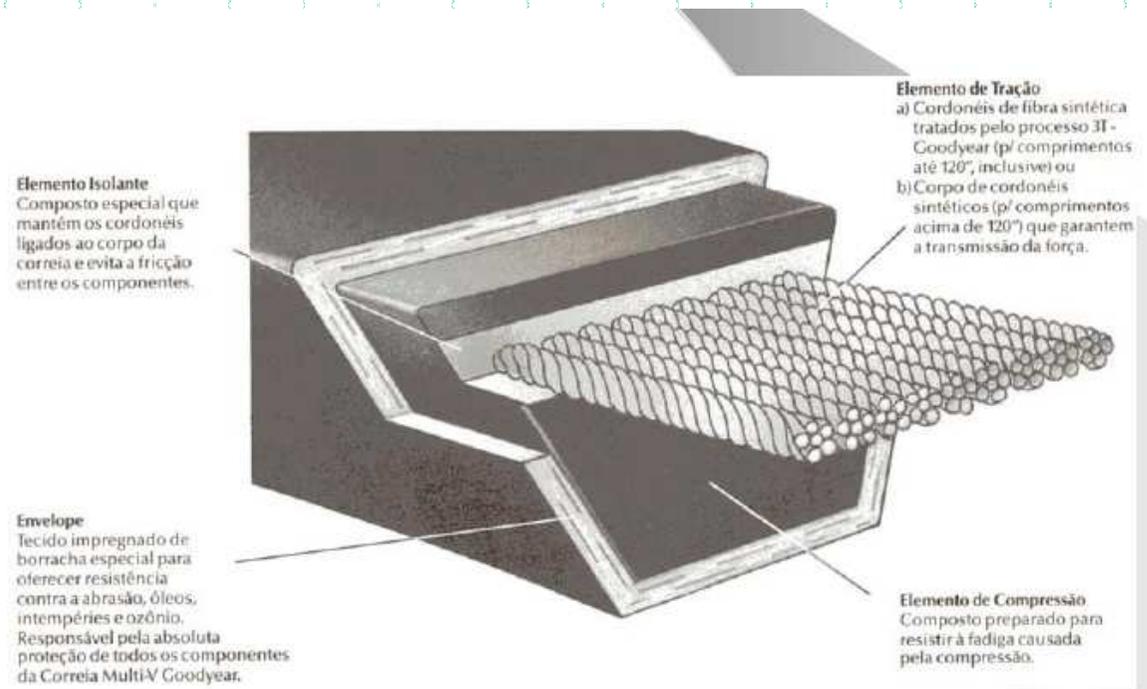
1.5 Correias em “V” e Poli-V

❑ Similares às correias planas, com coeficiente de atrito aumentado devido à ação da cunha nas nervuras (cordoneis girem no diâmetro externo da polia). Ângulo da correia = 36° (padrão).

- ✓ Praticamente não há deslizamento (cordoneis laterais estão sujeitos às maiores tensões, pela variação da tensão);
- ✓ Menor distância entre centros;
- ✓ Pressão nos flancos triplicada (efeito de cunha), em relação à correia plana;
- ✓ Menor carga sobre os mancais;
- ✓ Polias com canais múltiplos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 10 (Ideal 5 correias).

Aplicações: **compressores, peneiras e separadores, transportadores, bombas e veículos automotivos (alternadores).**

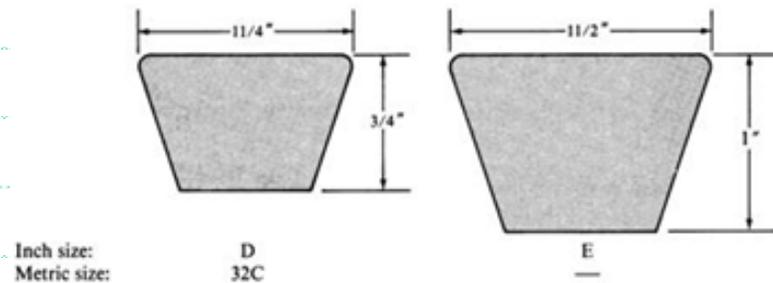
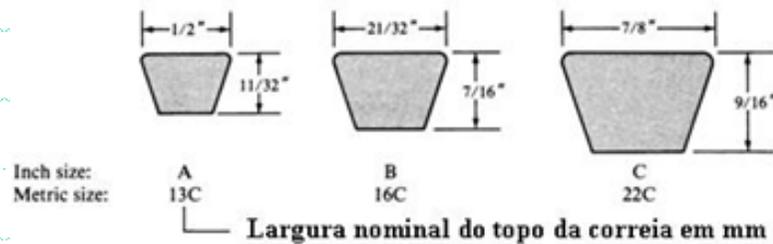
1.5 Correias em “V” e Poli-V



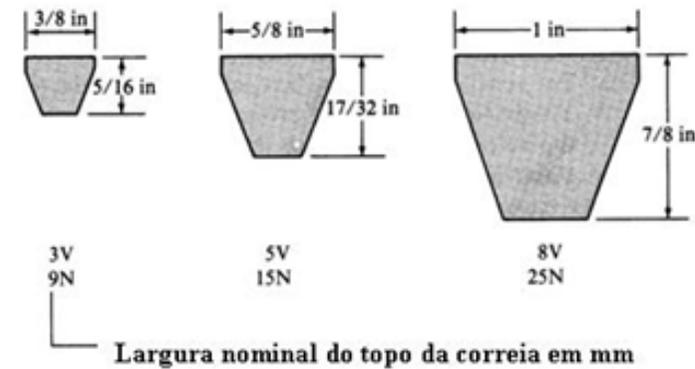
➤ **Correias em “V” tem seções padronizadas e as potências estão tabeladas em função destas seções, do tipo de serviço, velocidade e diâmetro da polia.**

1.5 Correias em “V” e Poli-V

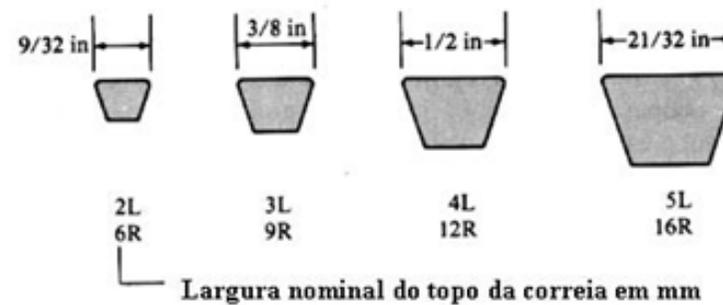
- A **designação e perfil** geralmente são feitas por **letras** que representa o **formato** (Letras de A até E) e por um **número** que é o **perímetro médio da correia em polegadas**. De acordo com cada fabricante!



Correias V industriais de alta resistência



Correias V industriais estreitas



Correias V de baixa resistência

- ✓ SAE Standard J636c: correias e polias em “V”;
- ✓ SAE Standard J637b: correias em “V” automotivas;
- ✓ SAE Standard J1459: correias e polias em “V” nervuradas.

1.6 Correias dentadas

- ✓ Eficiência de 97 a 99%;
 - ✓ Mais leve (\downarrow força centrífuga) e melhor resistência ao cisalhamento;
 - ✓ Dimensionamento similar ao de correias em "V";
 - ✓ Perfis parabólicos*, em casos especiais (similar a engrenagens helicoidais).
- ✓ Aplicações: veículos (eixo virabrequim com o eixo de comando de válvula), transportadoras, bombas de poço de petróleo, máquinas de impressão, moinhos, trocadores de calor.



1.6 Correias dentadas (*Timing belt*)

- ✓ Velocidade de transmissão sem deslizamento (razão constante de rotação);
- ✓ Não necessita de tensionamento inicial (Mínima pré-carga, somente para impedir o salto do dente, em momentos de início e parada);
- ✓ Altos torques e potências, com velocidades lineares de até 81 m/s (293 km/h);
- ✓ **Custo mais elevado**
- ✓ **Flutuações dinâmicas devido ao engrenamento.**

1.6 Correias dentadas

- ✓ Aplicações automotivas com correias sincronizadoras:
 - ✓ SAE Standard J1278: SI Polias e correias sincronizadoras;
 - ✓ SAE Standard J1313: Correias automotivas sincronizadoras;

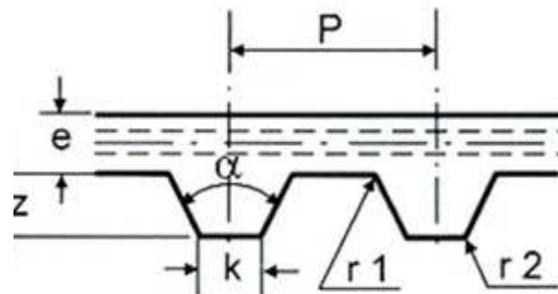
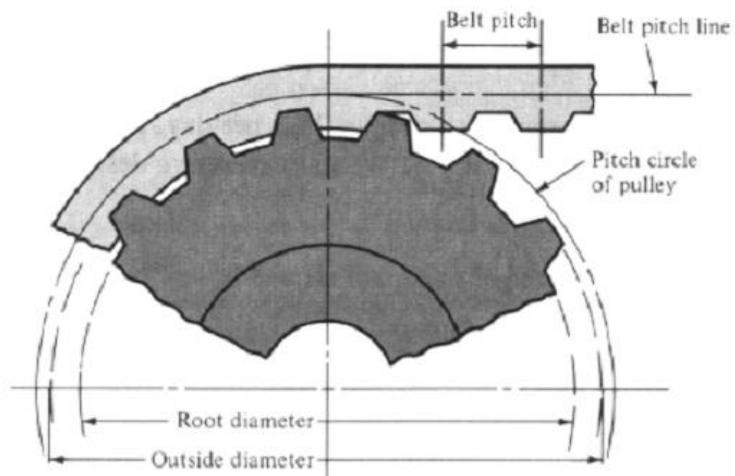
Nomenclatura utilizada: a identificação de correias sincronizadoras (mm ou pol.) compõem-se de um número código, que identificam três dimensões básicas e principais.

Tabela 17-18 Passos padronizados das correias de tempo

| Serviço | Designação | Passo p , in |
|------------------------|------------|----------------|
| Extraleve | XL | $\frac{1}{5}$ |
| Leve | L | $\frac{3}{8}$ |
| Pesado | H | $\frac{1}{2}$ |
| Extrapesado | XH | $\frac{7}{8}$ |
| Duplamente extrapesado | XXH | $1\frac{1}{4}$ |

Fonte: Shigley, *et. al*, 2006

1.6 Correias dentadas

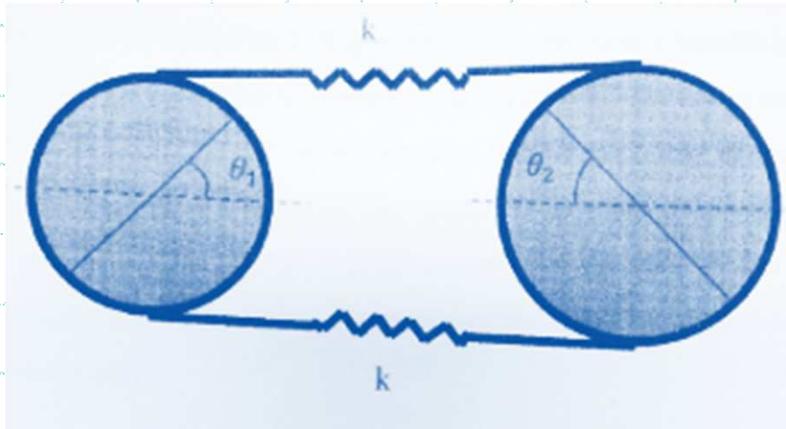


| Tipo | P | hz | e | k | a | r1 | r2 |
|------|--------|-------|-----|--------|-----|-------|-------|
| XL | 5,08 | 1,27 | 1,1 | 1,372 | 50° | 0,381 | 0,381 |
| L | 9,525 | 1,9 | 1,7 | 3,251 | 40° | 0,508 | 0,508 |
| H | 12,7 | 2,286 | 2,2 | 4,432 | 40° | 1,016 | 1,016 |
| XH | 22,225 | 6,35 | 4,8 | 7,938 | 40° | 1,575 | 1,194 |
| XXH | 31,75 | 9,525 | 6,4 | 12,116 | 40° | 2,286 | 1,524 |

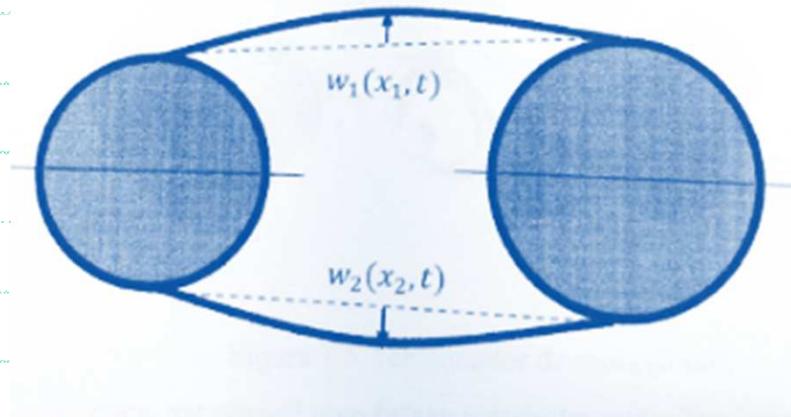
2. Dimensionamento de correias planas

A. Vibrações em sistemas polias fixas/correias

- Excentricidades de montagem, propriedades das correias, montagem dos suportes eixo-mancal.



- ✓ *Deformação longitudinal: fadiga* nas correias e mancais; forças de reação nos mancais (aumento do ruído) **escorregamento das correias.**



- ✓ Aumento do ruído!

- Sistema de movimentação não-linear (*polias, braços tensionadores e tramos*): acoplamento dos deslocamentos das polias/tensionadores, deslocamento transversal dos tramos e deslocamento longitudinal dos tramos) - *Princípio de Hamilton.*

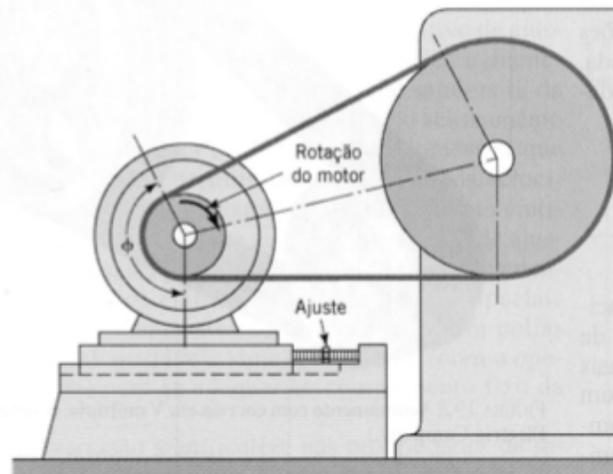
2. Dimensionamento de correias planas

B. Modos de falhas

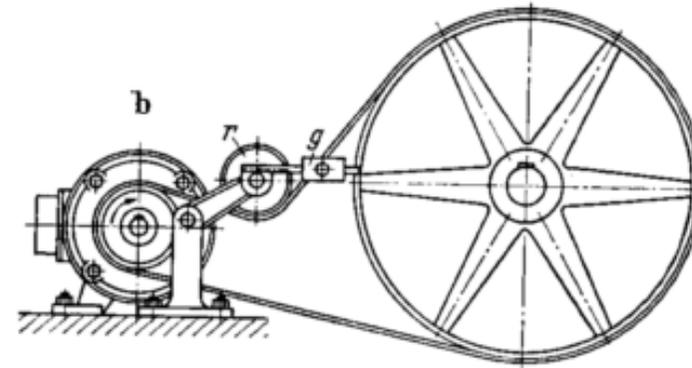
- Fadiga devido à trações e flexões cíclicas;
- Desgaste abrasivo/adensivo;
- Degradação das propriedades do material da correia (corrosão): temperaturas elevadas e ambiente contaminante;
- Estrutura composta: cordonéis, matriz elastomérica ou na interface;
- Quebras dos cordonéis, separação cordonel-borracha, rachaduras radiais devido à cura continuada da borracha (deformações cíclicas, perda por histerese de 10 a 18% da potência transmitida)
- Temperatura máxima de trabalho para correias: 82°C (acima, vida útil reduzida)

2. Dimensionamento de correias planas

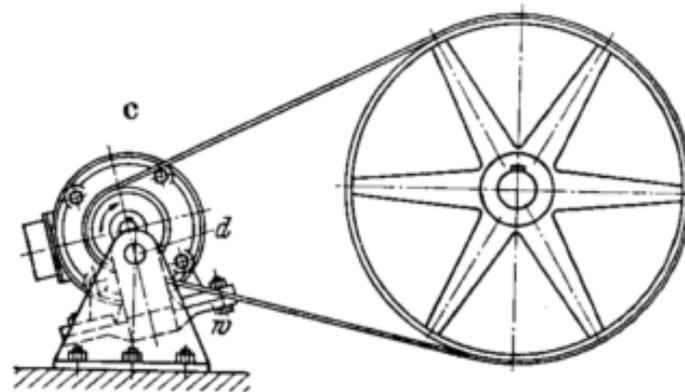
C. Condições operacionais: pré-tensionamento



a) Guias esticadoras



b) Polia esticadora



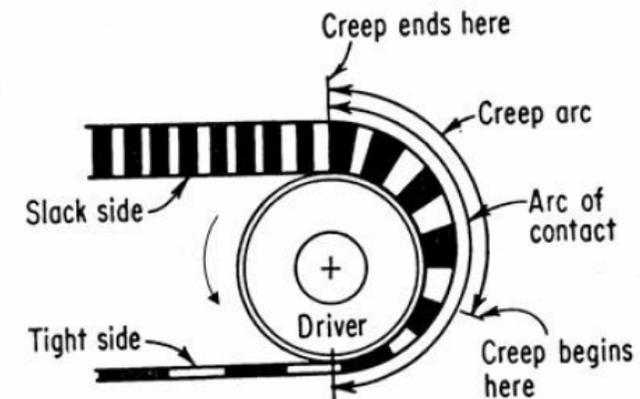
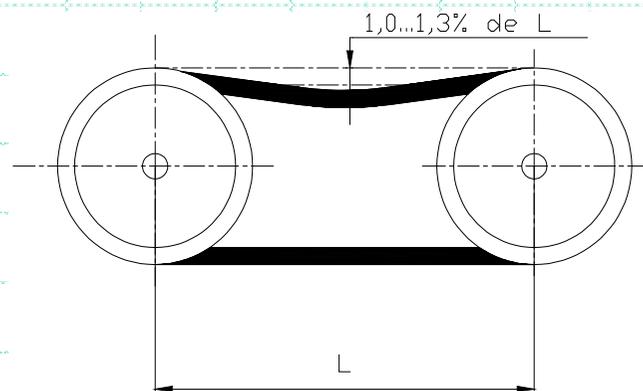
c) Balancim articulado (recoo na carcaça)



2. Dimensionamento de correias planas

2.1 Condições de operação

- ✓ Transmissão de potência (transporte): **Princípio do atrito**
- ✓ Atrito: Tensão inicial (contato) – **$F1/F2 = 3$ (tração estática)**
- ✓ Perda de potência (devido ao *creep*, deslizamento)
- ✓ Creep (diferença de tensão) – propriedade do material/enlongamento
- ✓ Deslize/escorregamento (tensão inicial) - operacional

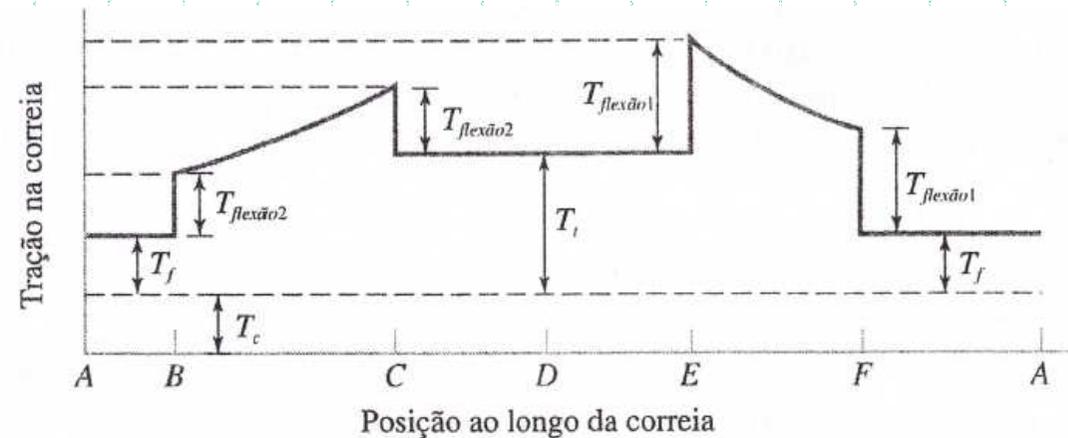
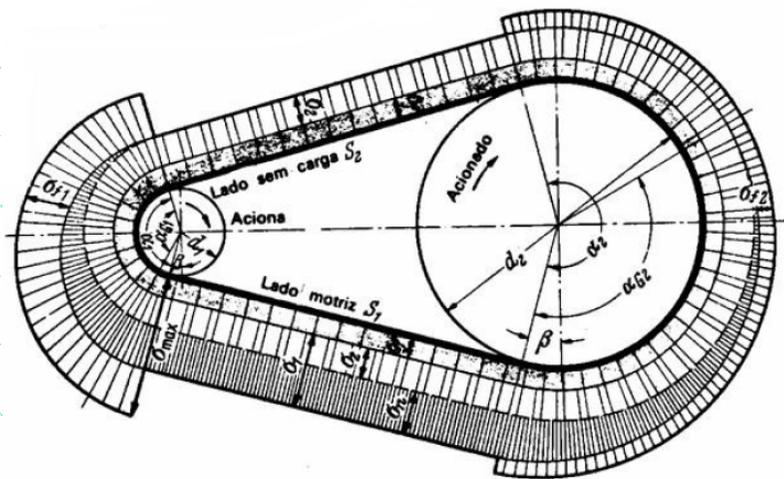


2. Dimensionamento de correias planas

2.1 Condições de operação

➤ Na polia motriz, a correia entra tensa (tração F_1) e sai descarregada (F_2).

Variação das forças F_1 para F_2 , e a correia sofre uma flexão cíclica.



T_c = tração induzida na correia por força centrífuga

T_f = tração do lado frouxo

T_t = tração do lado tenso

$T_{flexão1}$ = tração na correia induzida por flexão em torno da polia menor

$T_{flexão2}$ = tração na correia induzida por flexão em torno da polia maior

Representação gráfica do ciclo trativo de uma volta completa da correia (Fonte: Collins, 2006)

2. Dimensionamento de correias planas

2.2 Características físicas e geométricas

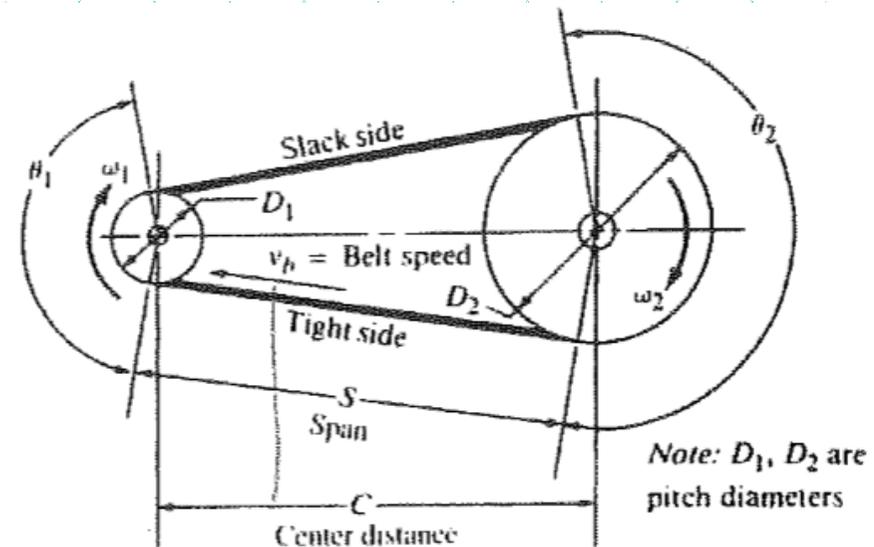
A) Relações de velocidade:

- Velocidade tangencial desenvolvida na correia (V_b):

$$V_b = \omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2 \text{ (cte na transmissão)}$$

$$\omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2 \quad \longrightarrow \quad 2\pi n_1 \frac{d_1}{2} = 2\pi n_2 \frac{d_2}{2}$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (1)$$



2. Dimensionamento de correias planas

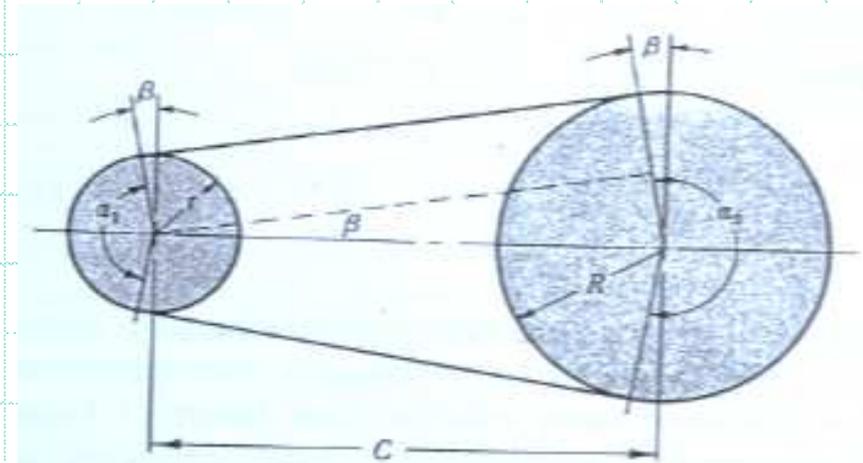
2.2 Características físicas e geométricas

$$\phi_1 = 180^\circ - 2\beta \quad \Rightarrow \quad \text{sen}\beta = \frac{R - r}{C}$$

$$\phi_2 = 180^\circ + 2\beta$$

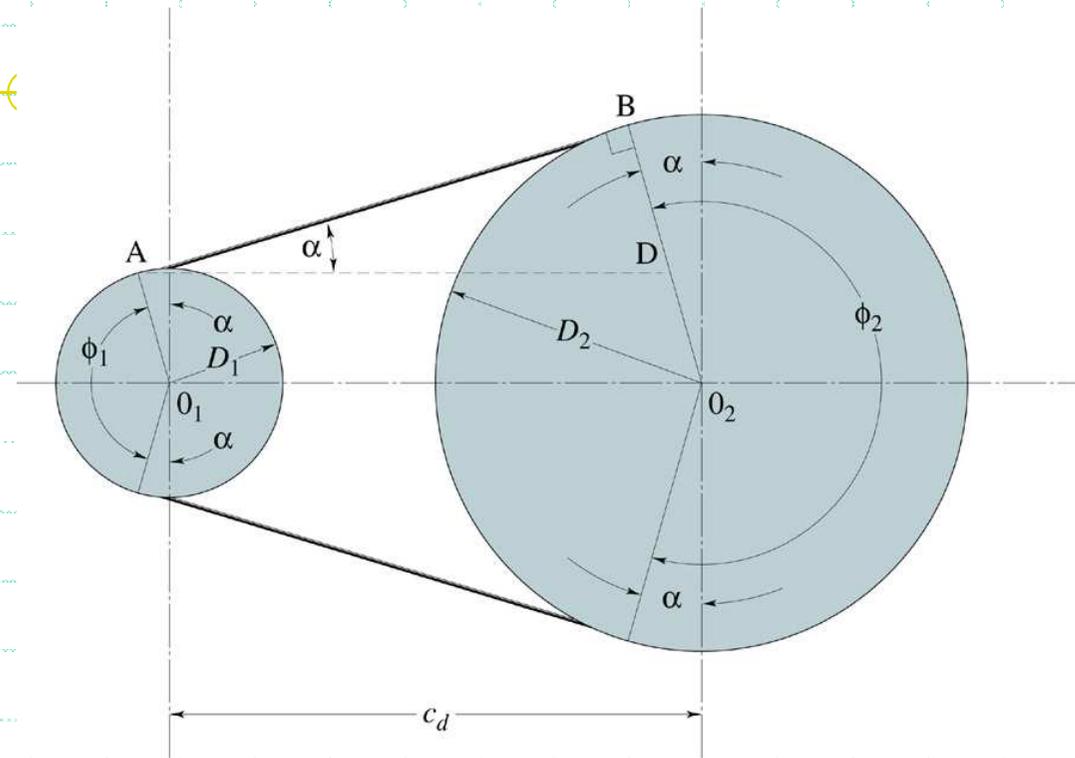
$$D_2 < C < 3(D_2 - D_1)$$

$$D_1 > 120^\circ$$



2. Dimensionamento de correias planas

2.2 Características físicas e geométricas



- D_1 - Diâmetro da polia maior
- D_2 - Diâmetro da polia menor
- C - Distância entre eixos
- θ - ângulo de contato (abraçamento);
- L - comprimento da correia

$$AB^2 + BD^2 = AD^2$$



$$AB^2 + (r_2 - r_1)^2 = c_d^2$$



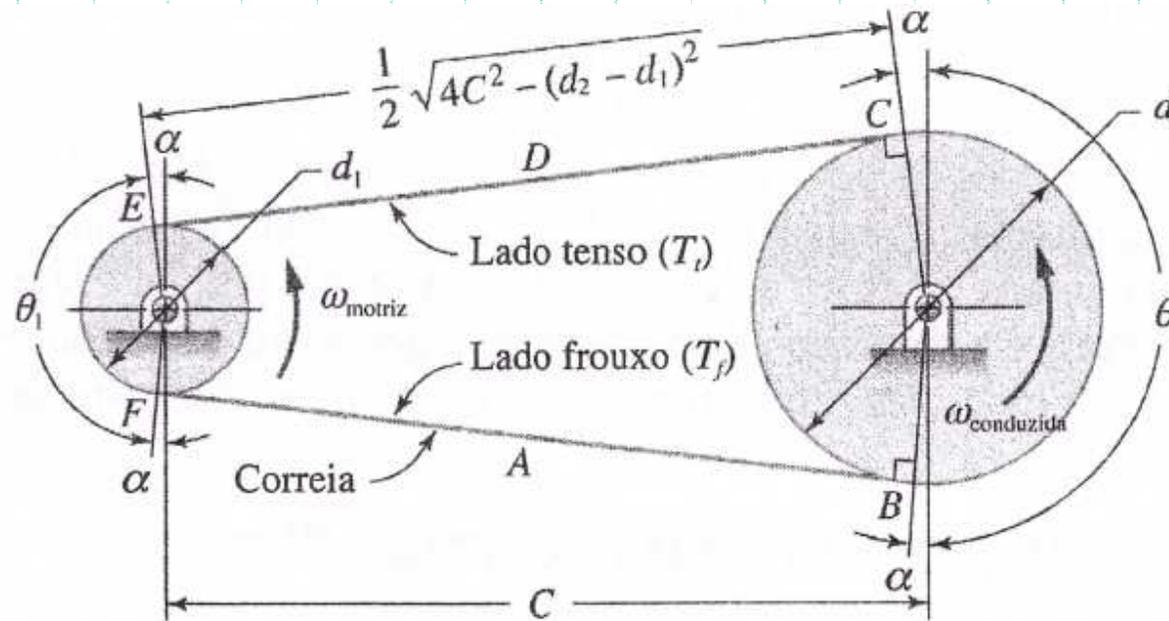
$$AB = \sqrt{c_d^2 - (r_2 - r_1)^2}$$

$$L = 2AB + r_1 \theta_1 \frac{\pi}{180^\circ} + r_2 \theta_2 \frac{\pi}{180^\circ}$$

(2)

2. Dimensionamento de correias planas

2.2 Características físicas e geométricas



θ_1 = ângulo de abraçamento (polia menor) = $\pi - 2\alpha$

θ_2 = ângulo de abraçamento (polia maior) = $\pi + 2\alpha$

d_1 = diâmetro da polia menor

d_2 = diâmetro da polia maior

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{d_2 - d_1}{2C}$$

$$L = \text{comprimento da correia} = \sqrt{4C^2 - (d_2 - d_1)^2} + \frac{d_2\theta_2 + d_1\theta_1}{2}$$

2. Dimensionamento de correias planas

2.3 Equação de deslizamento

✓ A tração inicial ou estática é mantida: ajustes periódicos na correia: *Movendo-se as polias para um afastamento maior ou por processo automático de tensionamento.*

✓ Grandezas envolvidas:

F_1 = força no tramo carregado da correia;

F_2 = força no tramo descarregado da correia;

ρ = peso específico do material da correia;

b = largura da correia;

t = espessura da correia;

V = velocidade tangencial da correia;

μ = coeficiente de atrito;

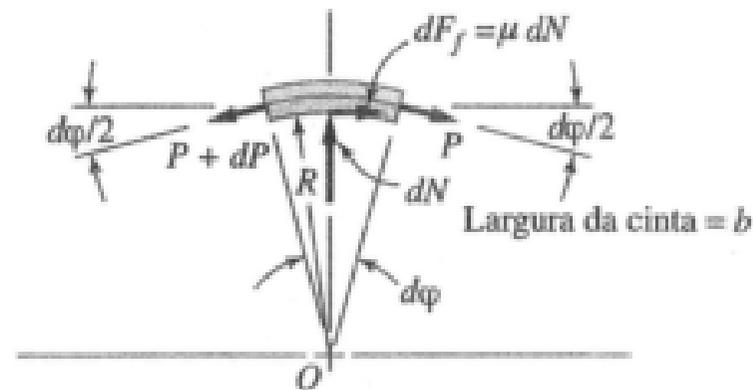
r = raio da polia;

θ (ou ϕ) = arco de contato entre a correia e a polia [rad].

2. Dimensionamento de correias planas

2.3 Equação de deslizamento

- Considerando um elemento infinitesimal $dL=d\theta$ e as hipóteses:
 - ✓ A polia atuará sobre este segmento com uma força normal dN .
 - ✓ Com o escorregamento iminente, a força de atrito será dF_μ , atuando em um sentido oposto àquele de tração;
 - ✓ Aumentado gradualmente a força (P), em torno da polia passando de F_2 para F_1 , a força sobre a extremidade do lado tenso será $P + \Delta P$.



2. Dimensionamento de correias planas

2.3 Equação de deslizamento

- Pelo DCL:

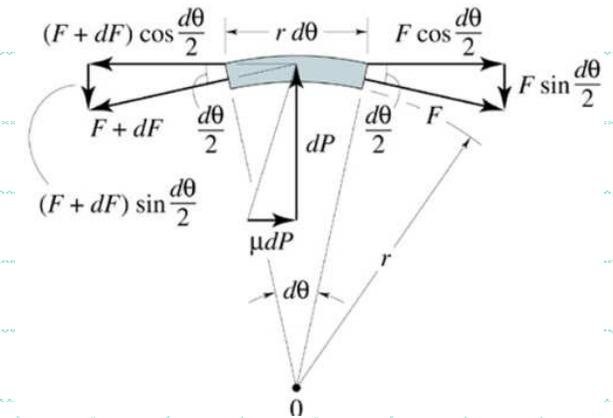
✓ Forças no sentido tangencial:

$$(P + dP) \cos \frac{d\varphi}{2} - P \cos \frac{d\varphi}{2} - dF\mu = 0 \quad (1)$$

$$\cos \frac{d\varphi}{2} \cong 1 \quad (a)$$

$$(P + dP) \cos \frac{d\varphi}{2} - P \cos \frac{d\varphi}{2} - dF\mu = 0 \quad (2)$$

$$dP - \mu dN = 0 \quad (3)$$



2. Dimensionamento de correias planas

2.3 Equação de deslizamento

✓ Forças no sentido radial:

$$dN - (P + dp) \operatorname{sen} \frac{d\varphi}{2} - P \operatorname{sen} \frac{d\varphi}{2} = 0 \quad (4)$$

$$\operatorname{sen} \frac{d\varphi}{2} \cong \frac{d\varphi}{2} \quad (\text{b})$$

$$dN - (P + dp) \frac{d\varphi}{2} - P \frac{d\varphi}{2} = 0 \quad (5)$$

$$dN - (P + dp) \frac{d\varphi}{2} - P \frac{d\varphi}{2} = 0 \quad (5a)$$

Rearranjando os termos e desprezando o termo **dp dφ**, tem-se:

2. Dimensionamento de correias planas

2.3 Equação de deslizamento

$$dN = P d\varphi \quad (6)$$

Combinando-se as equações (3) e (6) tem-se:

$$dP - \mu P d\varphi = 0 \quad (7)$$

ou

$$\frac{dP}{P} = \mu d\varphi \quad (8)$$

Integrando os dois lados, com variação da força e do ângulo de abraçamento θ tem-se:

$$\int_{F_2}^{F_1} \frac{dP}{P} = \mu \int_0^\phi d\varphi \quad (9)$$

2. Dimensionamento de correias planas

2.3 Equação de deslizamento estático

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = \mu\phi \quad (10)$$



$$\frac{P_1}{P_2} = e^{\mu\phi_1} \quad (11)$$

✓ Para velocidades lineares mais elevadas, acelerações centrípetas da massa da correia em torno da polia, geram uma tração na correia induzida pela força centrífuga (inércia), que deve ser incluída no DCL, do segmento de correia, para derivar a equação de deslizamento. Assim:

$$P_c = \frac{w'}{g} \left(\frac{V}{60} \right)^2 \quad (12)$$

- Reduz potência transmitida

Dados do fabricante

w' (massa específica) = em termos de densidade de peso (γ) em lbf/in^3 ou kgf/m^3 .

2. Dimensionamento de correias planas

2.4 Equação de deslizamento considerando rotação*:

$$\frac{P_1 - P_c}{P_2 - P_c} = e^{\mu\phi_1} \quad (13)$$

2. Dimensionamento de correias planas

2.5 Parâmetros para dimensionamento de correias

$$N = (P_1 - P_2)V \quad (14) \quad \text{Potência nominal transmitida}$$

$$V_1 = \frac{2\pi r_1 n_1}{6000} \quad (15) \quad \text{Velocidade da correia} \rightarrow \text{Escorregamento} \approx 1 \text{ a } 2\%$$

2. Dimensionamento de correias planas

2.4 Parâmetros para dimensionamento de correias

$$T_{\text{atrito}} = (P_1 - P_2) \frac{D_1}{2} = \frac{P_2 D_1}{2} (e^{\mu\phi} - 1) \quad (16) \quad \text{Torque de atrito transmitido}$$

$$(F_t)_d = \frac{F_a b_c}{K_a} \quad (17) \quad \text{Força de tração admissível de projeto, no lado tenso da correia}$$

F_a = tração adm. de projeto, por comprimento de correia;
 K_a – fator de utilização (Tab. 17.2);
 F_t – força no lado tenso.

* Fadiga – empírico

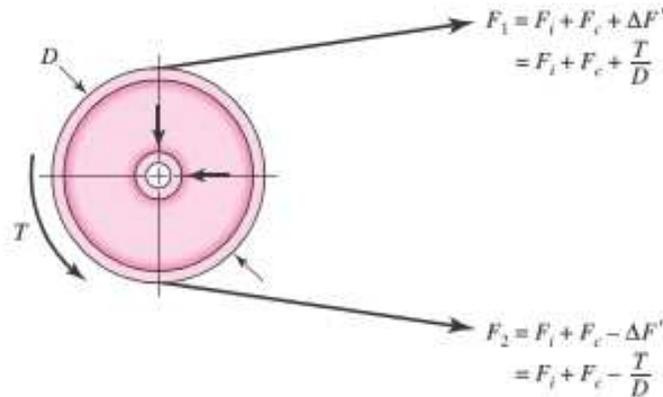
Tabelas 17.1 e 17.2

OU

2. Dimensionamento de correias planas

2.5 Funcionamento das correias (Torque e forças no tensionamento)

Cap. 17 - Shigley



Somando (a) e (b):

$$F_1 + F_2 = 2F_i + 2F_c \quad (d)$$

Tem-se, a pré-carga inicial (F_i):

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c \quad (e)$$

Tem-se, a pré-carga inicial (F_i):

$$F_1 - F_2 = \frac{2T}{D} = \frac{T}{D/2} \quad (a)$$

$$F_1 = F_i + F_c + \Delta F' = F_i + F_c + T/D \quad (b)$$

$$F_2 = F_i + F_c - \Delta F' = F_i + F_c - T/D \quad (c)$$

F_i = initial tension

F_c = hoop tension due to centrifugal force

$\Delta F'$ = tension due to the transmitted torque T

D = diameter of the pulley

➤ Dividindo-se (e) por (d), com manipulação algébrica tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{F_i}{T/D} &= \frac{(F_1 + F_2)/2 - F_c}{(F_1 - F_2)/2} = \frac{F_1 + F_2 - 2F_c}{F_1 - F_2} = \frac{(F_1 - F_c) + (F_2 - F_c)}{(F_1 - F_c) - (F_2 - F_c)} \\ &= \frac{(F_1 - F_c)/(F_2 - F_c) + 1}{(F_1 - F_c)/(F_2 - F_c) - 1} = \frac{\exp(f\phi) + 1}{\exp(f\phi) - 1} \quad (f) \end{aligned}$$

2. Dimensionamento de correias planas

2.5 Funcionamento das correias (Torque e forças no tensionamento)

➤ Obtendo-se a força de pré-carga:

$$F_i = \frac{T}{D} \frac{\exp(f\phi) + 1}{\exp(f\phi) - 1} \quad (g)$$

- Se a força de pré-carga for zero, então não há força inicial para iniciar a transmissão
- Assim, o torque é proporcional a pré-carga inicial.

➤ Substituindo a equação (g) em (b):

$$\begin{aligned} F_1 &= F_i + F_c + \frac{T}{D} = F_c + F_i + F_i \frac{\exp(f\phi) - 1}{\exp(f\phi) + 1} \\ &= F_c + \frac{F_i[\exp(f\phi) + 1] + F_i[\exp(f\phi) - 1]}{\exp(f\phi) + 1} \end{aligned}$$

$$F_1 = F_c + F_i \frac{2 \exp(f\phi)}{\exp(f\phi) + 1}$$

➤ Substituindo a equação (g) em (c):

$$\begin{aligned} F_2 &= F_i + F_c - \frac{T}{D} = F_c + F_i - F_i \frac{\exp(f\phi) - 1}{\exp(f\phi) + 1} \\ &= F_c + \frac{F_i[\exp(f\phi) + 1] - F_i[\exp(f\phi) - 1]}{\exp(f\phi) + 1} \end{aligned}$$

$$F_2 = F_c + F_i \frac{2}{\exp(f\phi) + 1}$$

2. Dimensionamento de correias planas

2.4 Parâmetros para dimensionamento de correias

TABELA 17.2 Fator de Utilização, K_u

| Característica de Partida | Características do Equipamento Conduzido | | |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | Uniforme | Choque Mecânico Moderado | Choque Mecânico Pesado |
| Uniforme (p. ex., motor elétrico, turbina) | 1,00 | 1,25 | 1,75 ou maior |
| Choque Mecânico Leve (p. ex, motor multicilindros) | 1,25 | 1,50 | 2,00 ou maior |
| Choque Mecânico Médio (p. ex., motor monocilindro) | 1,50 | 1,75 | 2,25 ou maior |

TABELA 17.1 Dados¹ de Projeto Empírico, Baseados na Experiência, para Correias Planas² de Alto Desempenho

| Material | Espessura, t_c , in | Tração Admissível por Unidade de Comprimento, T_a , lbf/in | Diâmetro Mínimo da Polia, $d_{mín}$, in | Peso Específico, lbf/in ³ | Coefficiente de Atrito |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Poliâmida | 0,03 | 10 | 0,6 | 0,035 | 0,5 |
| | 0,05 | 35 | 1,0 | 0,035 | 0,5 |
| | 0,07 | 60 | 2,4 | 0,051 | 0,5 |
| | 0,11 | 60 | 2,4 | 0,037 | 0,8 |
| | 0,13 | 100 | 4,3 | 0,042 | 0,8 |
| | 0,20 | 175 | 9,5 | 0,039 | 0,8 |
| | 0,25 | 275 | 13,5 | 0,039 | 0,8 |
| Uretano | 0,06 | 5 | 0,38–0,50 | 0,038–0,045 | 0,7 |
| | 0,08 | 10 | 0,50–0,75 | 0,038–0,045 | 0,7 |
| | 0,09 | 19 | 0,50–0,75 | 0,038–0,045 | 0,7 |
| Cordonel de poliéster | 0,04 | 57–225 | 1,5 | | |

3. Dimensionamento de correias em “V”

Potência transmissível (Niemann, v. III)*:

$$N_{trans} = \frac{N_0 \cdot b}{C} \quad \text{Correia plana} \quad (19)$$

$$N_{trans} = \frac{N_0 \cdot j}{C} \quad \text{Correia em “V”} \quad (20)$$

Sendo,

N_0 = potência transmitida por largura (correia) – Fig. 27.18, Niemann –
(velocidade tangencial x rotação x Potência N_0);

b = largura da correia plana;

j = número de correias em “V”

$C = C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7$, com $C1$ da Tab. 27.11, pág. 101 (Niemann, vol. III) (fator de choque, tipo de esticamento da correia, correção do ângulo de abraçamento,....)

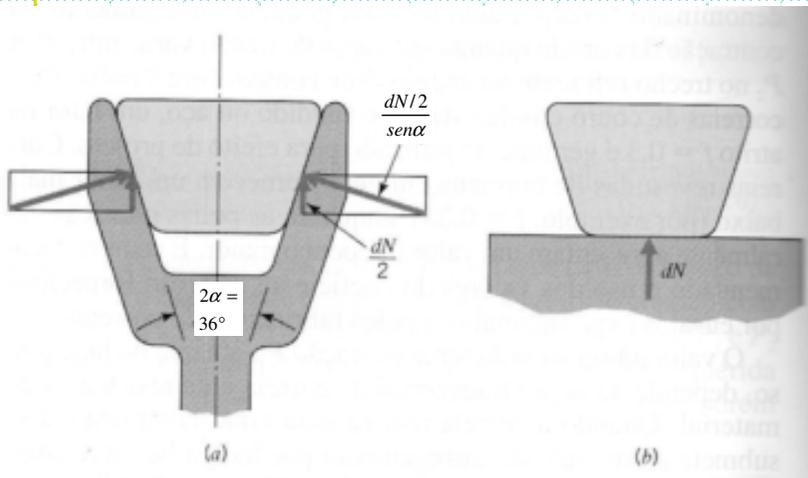
3. Dimensionamento de correias em “V”

$$C = 0,25 \left\{ \left[L_p - \frac{\pi}{2}(D+d) \right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi}{2}(D+d) \right]^2 - 2(D-d)^2} \right\} \quad (21)$$

D – diam. primitivo da polia maior; d – diam. prim., da polia menor

$$L_p = 2C + \pi(D+d)/2 + (D-d)^2 / (4C) \quad (22)$$

* *Lados convexos: sofre encurtamento, melhora contato.*



$$\frac{P_1 - P_c}{P_2 - P_c} = e^{[\mu \phi / (\text{sen} \alpha / 2)]} \quad (24)$$

Equação de deslizamento,
para correia em “V”

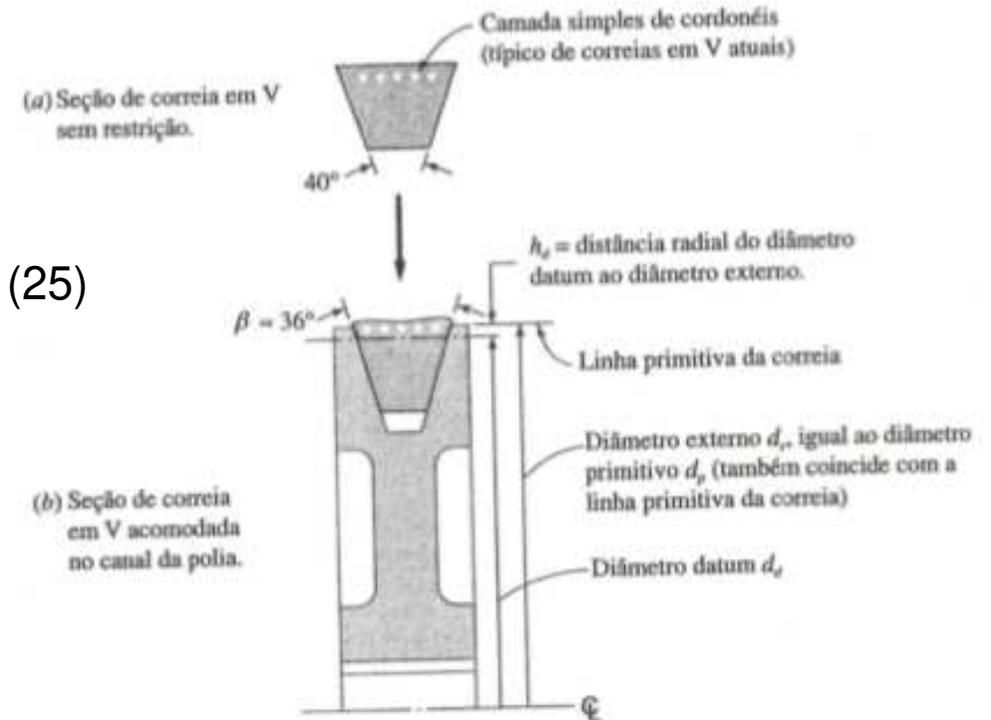
Relação para distância entre centros:

$$\underline{3(d+D) \geq C \geq D}$$

3. Dimensionamento de correias em “V”

3.1 Estimativa da vida da correia (ciclos)

$$N_f = k_i [K_0 - \sigma_a] 2 [K_m - \sigma_m]^2 L_d 1,75 V^k \quad (25)$$



- σ_m – tensão média real de um cordonel (eq. 26);
- σ_a – tensão alternada real de um cordonel (eq. 27);
- K_i, K_0, K_m, k – constantes empíricas – tab. 17.3;
- L_d – comprimento *datum* da correia - tab. 17.5;
- V – velocidade linear da correia [m/min].

3. Dimensionamento de correias em “V”

3.2 Tensões atuantes na correia

✓ Equações que definem as tensões médias e alternadas do cordonel lateral baseadas nas equações de equilíbrio:

$$\sigma_m = \frac{F_{1real} + F_{2real} + 2F_{flexão} + F_c}{2A_c} \quad (26)$$

$$\sigma_a = \frac{F_{1real} + F_{flexão} - F_2}{2A_c} \quad (27)$$

Sendo:

- F_{1real} = tração real (tab. 17.3) no cordonel lateral do lado tenso da correia F_1 ;
- F_{2real} = tração real (tab. 17.3) no cordonel lateral do lado frouxo da correia F_2 ;
- $F_{flexão}$ = tração no cordonel devido à flexão;
- F_c = tração no cordonel lateral devido à força centrífuga;
- A_c = área nominal de cada cordonel.

3. Dimensionamento de correias em “V”

3.2 Tensões atuantes na correia

$$F_{flexão} = \frac{C_1 + C_2}{d_d} \quad (28)$$

Sendo:

d_d = diâmetro real (*Datum*) da correia;

C_1 e C_2 = constantes, para uma determinada seção transversal e material da correia.

$$F_C = C_3 V^2 \quad (29)$$

Sendo:

C_3 = determinada pela seção transversal de uma correia.

$$F_{1real} = C_4 F_1 \quad (30)$$

Sendo:

C_4 = constante, para uma determinada seção transversal, material da correia e diâmetro da polia.

3. Dimensionamento de correias em “V”

3.2 Tensões atuantes

TABELA 17.3 Constantes¹ Baseadas em Dados Empíricos Desenvolvidos para o Uso com (17-10) para Seções Transversais Seleccionadas² de Correia em V (Todos os dados são para cordoneis de poliéster)

| Seção de Correia | d_p para ³ A, B, C, D; d_e para ⁴ 3V, 5V, in | K_1 | K_2 ksi | K_3 ksi | k | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | A_c in ² | n_c | w_{11} lb/ft |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----|-------|-------|------------------------|-------|--------------------------|-------|-------------------|
| A | 3 | $6,13 \times 10^{-8}$ | 19,8 | 26,4 | -1 | 5,0 | 111 | $0,101 \times 10^{-4}$ | 0,20 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,0 | 0,065 |
| | 4 | $6,13 \times 10^{-8}$ | 19,8 | 26,4 | -1 | 5,0 | 111 | $0,101 \times 10^{-4}$ | 0,18 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,0 | 0,065 |
| | 5 | $6,13 \times 10^{-8}$ | 19,8 | 26,4 | -1 | 5,0 | 111 | $0,101 \times 10^{-4}$ | 0,17 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,0 | 0,065 |
| | 6 | $6,13 \times 10^{-8}$ | 19,8 | 26,4 | -1 | 5,0 | 111 | $0,101 \times 10^{-4}$ | 0,16 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,0 | 0,065 |
| | 7 | $6,13 \times 10^{-8}$ | 19,8 | 26,4 | -1 | 5,0 | 111 | $0,101 \times 10^{-4}$ | 0,16 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,0 | 0,065 |
| B | 4 | $1,78 \times 10^{-7}$ | 17,3 | 26,0 | -1 | 5,2 | 123 | $0,133 \times 10^{-4}$ | 0,14 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,8 | 0,112 |
| | 5 | $1,78 \times 10^{-7}$ | 17,3 | 26,0 | -1 | 5,2 | 123 | $0,133 \times 10^{-4}$ | 0,15 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,8 | 0,112 |
| | 6 | $1,78 \times 10^{-7}$ | 17,3 | 26,0 | -1 | 5,2 | 123 | $0,133 \times 10^{-4}$ | 0,15 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,8 | 0,112 |
| | 7 | $1,78 \times 10^{-7}$ | 17,3 | 26,0 | -1 | 5,2 | 123 | $0,133 \times 10^{-4}$ | 0,16 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,8 | 0,112 |
| | 8 | $1,78 \times 10^{-7}$ | 17,3 | 26,0 | -1 | 5,2 | 123 | $0,133 \times 10^{-4}$ | 0,17 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 7,8 | 0,112 |
| C | 6 | $9,39 \times 10^{-11}$ | 14,1 | 20,8 | 0 | 7,5 | 200 | $0,213 \times 10^{-4}$ | 0,15 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 9,0 | 0,199 |
| | 7 | $9,39 \times 10^{-11}$ | 14,1 | 20,8 | 0 | 7,5 | 200 | $0,213 \times 10^{-4}$ | 0,14 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 9,0 | 0,199 |
| | 8 | $9,39 \times 10^{-11}$ | 14,1 | 20,8 | 0 | 7,5 | 200 | $0,213 \times 10^{-4}$ | 0,14 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 9,0 | 0,199 |
| | 10 | $9,39 \times 10^{-11}$ | 14,1 | 20,8 | 0 | 7,5 | 200 | $0,213 \times 10^{-4}$ | 0,13 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 9,0 | 0,199 |
| | 12 | $9,39 \times 10^{-11}$ | 14,1 | 20,8 | 0 | 7,5 | 200 | $0,213 \times 10^{-4}$ | 0,13 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 9,0 | 0,199 |
| D | 7 | $6,76 \times 10^{-10}$ | 10,8 | 14,6 | 0 | 26,5 | 256 | $0,291 \times 10^{-4}$ | 0,12 | $5,15 \times 10^{-3}$ | 11,0 | 0,406 |
| | 8 | $6,76 \times 10^{-10}$ | 10,8 | 14,6 | 0 | 26,5 | 256 | $0,291 \times 10^{-4}$ | 0,11 | $5,15 \times 10^{-3}$ | 11,0 | 0,406 |
| | 9 | $6,76 \times 10^{-10}$ | 10,8 | 14,6 | 0 | 26,5 | 256 | $0,291 \times 10^{-4}$ | 0,11 | $5,15 \times 10^{-3}$ | 11,0 | 0,406 |
| | 10 | $6,76 \times 10^{-10}$ | 10,8 | 14,6 | 0 | 26,5 | 256 | $0,291 \times 10^{-4}$ | 0,11 | $5,15 \times 10^{-3}$ | 11,0 | 0,406 |
| | 11 | $6,76 \times 10^{-10}$ | 10,8 | 14,6 | 0 | 26,5 | 256 | $0,291 \times 10^{-4}$ | 0,10 | $5,15 \times 10^{-3}$ | 11,0 | 0,406 |
| 3V | 3 | $1,58 \times 10^{-7}$ | 16,9 | 28,3 | -1 | 5,0 | 101 | $0,094 \times 10^{-4}$ | 0,23 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 5,0 | 0,049 |
| | 4 | $1,58 \times 10^{-7}$ | 16,9 | 28,3 | -1 | 5,0 | 101 | $0,094 \times 10^{-4}$ | 0,22 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 5,0 | 0,049 |
| | 5 | $1,58 \times 10^{-7}$ | 16,9 | 28,3 | -1 | 5,0 | 101 | $0,094 \times 10^{-4}$ | 0,21 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 5,0 | 0,049 |
| | 6 | $1,58 \times 10^{-7}$ | 16,9 | 28,3 | -1 | 5,0 | 101 | $0,094 \times 10^{-4}$ | 0,21 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 5,0 | 0,049 |
| | 7 | $1,58 \times 10^{-7}$ | 16,9 | 28,3 | -1 | 5,0 | 101 | $0,094 \times 10^{-4}$ | 0,21 | $1,73 \times 10^{-3}$ | 5,0 | 0,049 |
| 5V | 6 | $9,99 \times 10^{-8}$ | 16,0 | 29,2 | -1 | 6,0 | 200 | $0,202 \times 10^{-4}$ | 0,19 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 6,3 | 0,141 |
| | 7 | $9,99 \times 10^{-8}$ | 16,0 | 29,2 | -1 | 6,0 | 200 | $0,202 \times 10^{-4}$ | 0,18 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 6,3 | 0,141 |
| | 8 | $9,99 \times 10^{-8}$ | 16,0 | 29,2 | -1 | 6,0 | 200 | $0,202 \times 10^{-4}$ | 0,18 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 6,3 | 0,141 |
| | 10 | $9,99 \times 10^{-8}$ | 16,0 | 29,2 | -1 | 6,0 | 200 | $0,202 \times 10^{-4}$ | 0,17 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 6,3 | 0,141 |
| | 12 | $9,99 \times 10^{-8}$ | 16,0 | 29,2 | -1 | 6,0 | 200 | $0,202 \times 10^{-4}$ | 0,17 | $2,88 \times 10^{-3}$ | 6,3 | 0,141 |

¹Coefficientes de correlação para todas as seções transversais na faixa de 0,81 a 0,99. Um coeficiente de correlação típico é de 0,9.

²Dados de outras seções transversais são disponíveis na ref. 10. Note também que os dados para C_3 são de valores aproximados. C_3 é, na realidade, uma função fraca da razão de tração, como mostrado na ref. 10.

³Diâmetro datum.

⁴Diâmetro externo

3. Dimensionamento de correias em “V”

3.3 Determ. do número de correias em “V”

$$b = \frac{N_{motor}}{N_{tab} \cdot K_1 \cdot K_2} \quad (18)$$

Número de correias em “V”.

- N_{tab} é obtido através de uma tabela, em função do diâmetro da polia menor e da velocidade da correia.

- N_{motor} é a potência do motor instalado.

Tabela A – Fator de correção (K_1), para ângulos de abraçamentos menores do que 180°.

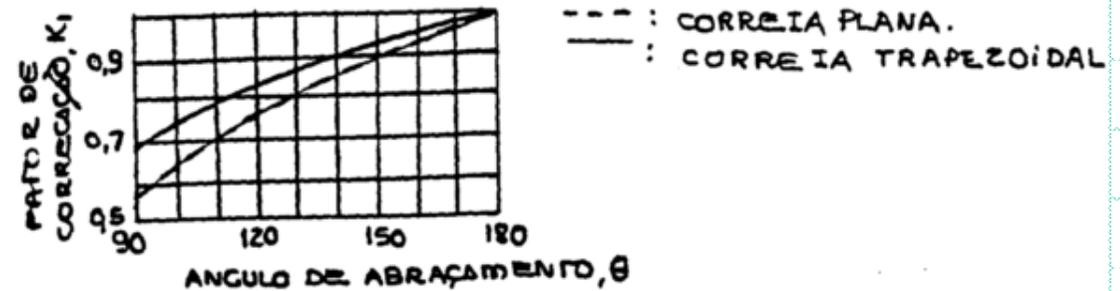


TABELA VIII Fatores de correção K2.

| FATOR K2 | COMPRIMENTO NOMINAL [in] | | | |
|----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | SEÇÃO A | SEÇÃO B | SEÇÃO C | SEÇÃO D |
| 0,85 | ATÉ 35 | ATÉ 46 | ATÉ 75 | ATÉ 128 |
| 0,90 | 35 - 46 | 47 - 60 | 76 - 96 | 129 - 162 |
| 0,95 | 47 - 55 | 61 - 75 | 97 - 120 | 163 - 210 |
| 1,00 | 56 - 75 | 76 - 97 | 121 - 158 | 210 - 270 |
| 1,05 | 76 - 90 | 98 - 120 | 159 - 195 | 270 - 330 |
| 1,10 | 91 - 112 | 121 - 144 | 196 - 240 | 331 - 420 |
| 1,15 | ACIMA 112 | ACIMA 144 | ACIMA 240 | ACIMA 420 |

Tabela B – Fator de correção (K_2), devido ao comprimento da correia.

3. Dimensionamento de correias em “V”

3.2 Tensões atuantes

17-15 Fatores de serviço K_s sugeridos para transmissões de correia em V

| Maquinaria movida | Fonte de potência | |
|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | Característica normal de torque | Torque elevado ou não-uniforme |
| Uniforme | 1,0 a 1,2 | 1,1 a 1,3 |
| Choque leve | 1,1 a 1,3 | 1,2 a 1,4 |
| Choque médio | 1,2 a 1,4 | 1,4 a 1,6 |
| Choque elevado | 1,3 a 1,5 | 1,5 a 1,8 |

Exemplo: Serviço extra-pesado: arranque de 200% da carga inicial, funcionando de 16 a 24 h – 7 dias. (ventiladores de mineração)

Tabela 13-1 – Fator de Serviço Correias em V

| Driven Machine Type | Driver Type | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|
| | AC Motors: Normal Torque ^a DC Motors: Shunt-wound Engines: Multiple Cylinder | | | AC Motors: High Torque ^b DC Motors: Series-wound, Compound-wound Engines: 4-cylinder or Less | | |
| | <6 h per Day | 6–15 h per Day | >15 h per Day | <6 h per Day | 6–15 h per Day | >15 h per Day |
| Agitators, blowers, fans, centrifugal pumps, conveyors, light | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| Generators, machine tools, mixers, conveyors, gravel | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| Bucket elevators, textile machines, hammer mills, conveyors, heavy | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 |
| Crushers, ball mills, hoists, rubber extruders | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |
| Any machine that can choke | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |

Tabela 17-9 Seções padronizadas de correias em V



| Seção de correia | Largura a, in | Espessura b, in | Diâmetro mínimo de polia acanalada, in | Intervalo, uma ou mais correias |
|------------------|---------------|-----------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| A | 1/2 | 11/32 | 3,0 | 1/4-10 |
| B | 21/32 | 7/16 | 5,4 | 1-25 |
| C | 7/8 | 17/32 | 9,0 | 15-100 |
| D | 1 1/4 | 3/4 | 13,0 | 50-250 |
| E | 1 1/2 | 1 | 21,6 | 100 e acima |

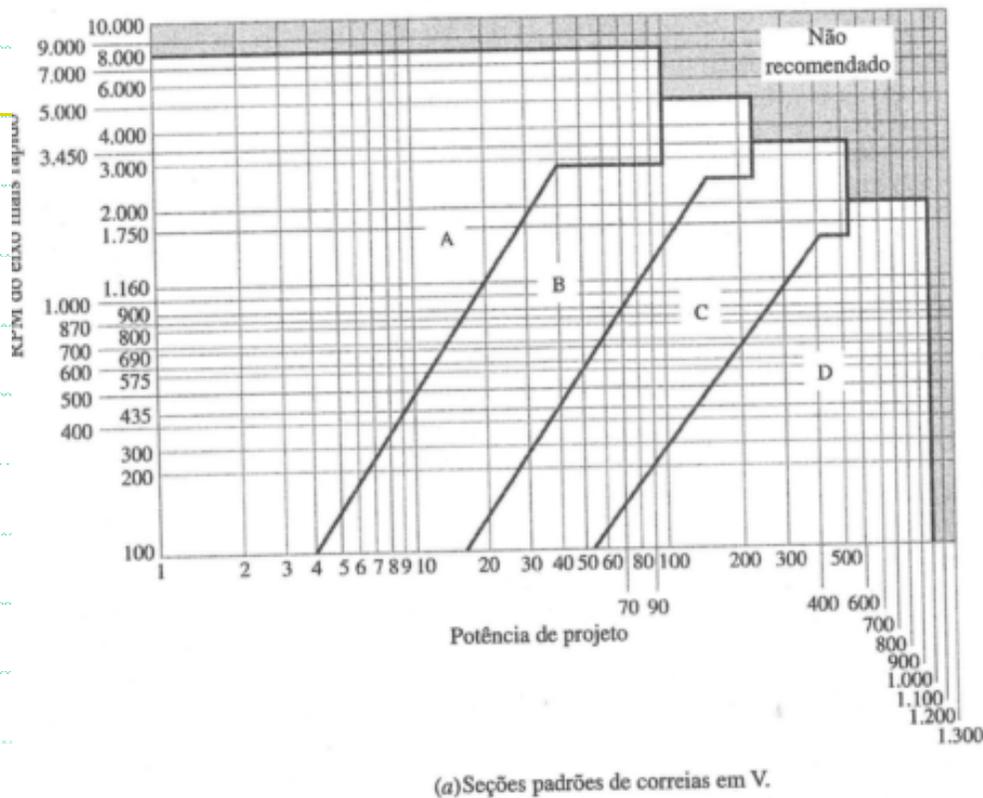
Tabela 17-10 Circunferências internas das correias padronizadas em V

| Seção | Circunferência, in |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | 26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128 |
| B | 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300 |
| C | 51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420 |
| D | 120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |
| E | 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |

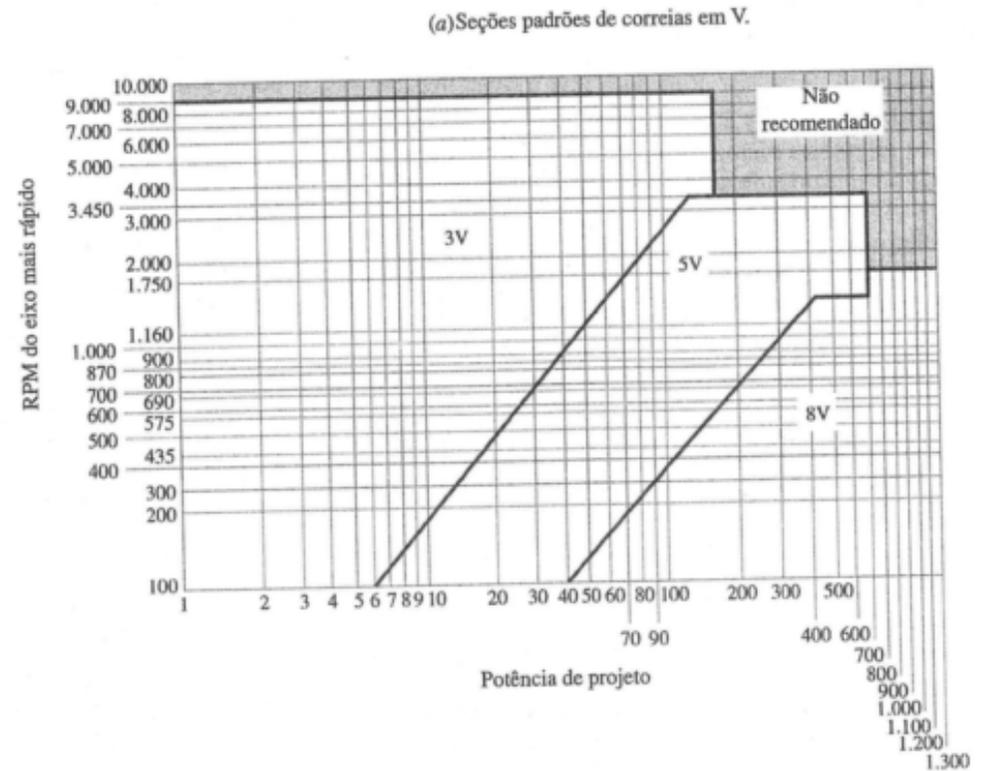
Fonte: Shigley, *et. al*, 2006 e Niemann (1971)

5. Exemplos de tabelas de fabricantes

- ✓ Seleção preliminar de uma correia, com base nos requisitos de potência e rotação do eixo.



(a) Seções padrões de correias em V.



(b) Seções de correias em V estreitas.

Seleção nominal recomendada de correia, como função de utilização, requisitos de potência e velocidade angular. (Collins (2006) *apud* Dayco Products, Inc.)

5. Exemplos de tabelas de fabricantes

TABELA 17.5 Seleção de Comprimentos Datum Nominais Padronizados L_d , Comprimentos Externos L_e , e Comprimentos Internos L_i , para Diversas Seções Padronizadas de Correia em V

| Seção da Correia | Comprimento Datum, L_d , in | Comprimento Externo ¹ , L_e , in | Comprimento Interno, L_i , in | |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------|-------|
| A | 22,3 | 23,3 | 21,0 | |
| | 32,3 | 33,3 | 31,0 | |
| | 42,3 | 43,3 | 41,0 | |
| | 52,3 | 53,3 | 51,0 | |
| | 62,3 | 63,3 | 61,0 | |
| | 72,3 | 73,3 | 71,0 | |
| | 82,3 | 83,3 | 81,0 | |
| | 92,3 | 93,3 | 91,0 | |
| | 101,3 | 102,3 | 100,0 | |
| | 137,3 | 138,3 | 136,0 | |
| | 181,3 | 183,3 | 180,0 | |
| B | 29,8 | 30,8 | 28,0 | |
| | 39,8 | 40,8 | 38,0 | |
| | 49,8 | 50,8 | 48,0 | |
| | 59,8 | 60,8 | 59,0 | |
| | 69,8 | 70,8 | 69,0 | |
| | 89,8 | 90,8 | 79,0 | |
| | 109,8 | 110,8 | 89,0 | |
| | 149,8 | 150,8 | 149,0 | |
| | 211,8 | 212,8 | 211,0 | |
| | C | 53,9 | 55,2 | 51,0 |
| | | 62,9 | 64,2 | 60,0 |
| 73,9 | | 75,2 | 71,0 | |
| 83,9 | | 85,2 | 81,0 | |
| 99,9 | | 101,2 | 97,0 | |
| 117,9 | | 119,2 | 115,0 | |
| 138,9 | | 140,2 | 136,0 | |
| 160,9 | | 162,2 | 158,0 | |
| 182,9 | | 184,2 | 180,0 | |
| 212,9 | | 214,2 | 210,0 | |
| D | | 123,3 | 125,2 | 120,0 |
| | 147,3 | 149,2 | 144,0 | |
| | 176,3 | 178,2 | 173,0 | |
| | 198,3 | 200,2 | 195,0 | |
| | 213,3 | 215,2 | 210,0 | |
| 3V | | 25,0 | | |
| | | 40,0 | | |
| | | 56,0 | | |
| | | 67,0 | | |
| | | 80,0 | | |
| | | 95,0 | | |
| | | 112,0 | | |
| | | 125,0 | | |
| | | 140,0 | | |
| | 5V | | 50,0 | |
| | | 60,0 | | |
| | | 71,0 | | |
| | | 80,0 | | |
| | | 90,0 | | |
| | | 100,0 | | |
| | | 112,0 | | |
| | | 125,0 | | |
| | | 132,0 | | |
| 8V | | | 100,0 | |
| | | 150,0 | | |
| | | 200,0 | | |
| | | 250,0 | | |
| | | 300,0 | | |
| | | 400,0 | | |
| | | 500,0 | | |
| | | 600,0 | | |

Fonte: Colins (2006)

Tabela 17-12 Classificações de potência de correias padronizadas em V

| Seção de correia | Diâmetro de passo primitivo de polia | Velocidade de correia, ft/min | | | | |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|------|------|
| | | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 |
| A | 2,6 | 0,47 | 0,62 | 0,53 | 0,15 | |
| | 3,0 | 0,66 | 1,01 | 1,12 | 0,93 | |
| | 3,4 | 0,81 | 1,31 | 1,57 | 1,53 | 0,38 |
| | 3,8 | 0,93 | 1,55 | 1,92 | 2,00 | 1,12 |
| | 4,2 | 1,03 | 1,74 | 2,20 | 2,38 | 1,71 |
| | 4,6 | 1,11 | 1,89 | 2,44 | 2,69 | 2,19 |
| | 5,0 e acima | 1,17 | 2,03 | 2,64 | 2,96 | 2,58 |
| | 5,0 | 1,07 | 1,58 | 1,68 | 1,26 | 2,89 |
| | 4,6 | 1,27 | 1,99 | 2,29 | 2,08 | 0,22 |
| | 5,0 | 1,44 | 2,33 | 2,80 | 2,76 | 1,24 |
| B | 5,4 | 1,59 | 2,62 | 3,24 | 3,34 | 2,82 |
| | 5,8 | 1,72 | 2,87 | 3,61 | 3,85 | 3,45 |
| | 6,2 | 1,82 | 3,09 | 3,94 | 4,28 | 4,00 |
| | 6,6 | 1,92 | 3,29 | 4,23 | 4,67 | 4,48 |
| | 7,0 e acima | 2,01 | 3,46 | 4,49 | 5,01 | 4,90 |
| | 6,0 | 1,84 | 2,66 | 2,72 | 1,87 | |
| | 7,0 | 2,48 | 3,94 | 4,64 | 4,44 | 3,12 |
| | 8,0 | 2,96 | 4,90 | 6,09 | 6,36 | 5,52 |
| | 9,0 | 3,34 | 5,65 | 7,21 | 7,86 | 7,39 |
| | 10,0 | 3,64 | 6,25 | 8,11 | 9,06 | 8,89 |
| C | 11,0 | 3,88 | 6,74 | 8,84 | 10,0 | 10,1 |
| | 12,0 e acima | 4,09 | 7,15 | 9,46 | 10,9 | 11,1 |
| | 10,0 | 4,14 | 6,13 | 6,55 | 5,09 | 1,35 |
| | 11,0 | 5,00 | 7,83 | 9,11 | 8,50 | 5,62 |
| | 12,0 | 5,71 | 9,26 | 11,2 | 11,4 | 9,18 |
| | 13,0 | 6,31 | 10,5 | 13,0 | 13,8 | 12,2 |
| | 14,0 | 6,82 | 11,5 | 14,6 | 15,8 | 14,8 |
| | 15,0 | 7,27 | 12,4 | 15,9 | 17,6 | 17,0 |
| | 16,0 | 7,66 | 13,2 | 17,1 | 19,2 | 19,0 |
| | 17,0 e acima | 8,01 | 13,9 | 18,1 | 20,6 | 20,7 |
| D | 16,0 | 8,68 | 14,0 | 17,5 | 18,1 | 15,3 |
| | 18,0 | 9,92 | 16,7 | 21,2 | 23,0 | 21,5 |
| | 20,0 | 10,9 | 18,7 | 24,2 | 26,9 | 26,4 |
| | 22,0 | 11,7 | 20,3 | 26,6 | 30,2 | 30,5 |
| | 24,0 | 12,4 | 21,6 | 28,6 | 32,9 | 33,8 |
| | 26,0 | 13,0 | 22,8 | 30,3 | 35,1 | 36,7 |
| | 28,0 e acima | 13,4 | 23,7 | 31,8 | 37,1 | 39,1 |

Fonte: Shigley, et. al, 2006

6. Exemplo de cálculo de correias em “V” (Catálogo *Goodyear*)

- Dimensionar uma transmissão por correias “V” considerando as seguintes informações:

- ✓ Acionador: Motor elétrico de 30 HP, rotação de 1170 rpm.

- ✓ Acionado: rotação de operação: 280 rpm.

- ✓ Regime de trabalho: Contínuo

- ✓ Distância entre centros (a): mínima de 914 mm e máxima 1270 mm

6. Exemplo de cálculo de correias em “V”

1) Determinar potência efetiva

$$f_{serviço} - \text{tabelas 1 a 4} \rightarrow f_{serviço} = 1,4$$

$$N_{efetiva} = N_{nominal} \cdot f_{serviço} = 30 \cdot 1,4 = 42 \text{ [HP]}$$

2) Perfil da correia

Utilizando **Tabela 1**, entrando com potência efetiva e maior rotação. Determina-se o **perfil C**. Diâmetro da polia menor entre $d_{1 \min} = 200 \text{ mm}$ e $d_{1 \max} = 300 \text{ mm}$.

3) Relação de transmissão

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1170}{280} = 4,18$$

4) Diâmetros nominais das polias

$$d_1 = 250 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_1 \cdot i = 250 \cdot 4,18 = 1045 \text{ mm}$$

6. Exemplo de cálculo de correias em “V”

DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE CORREIA

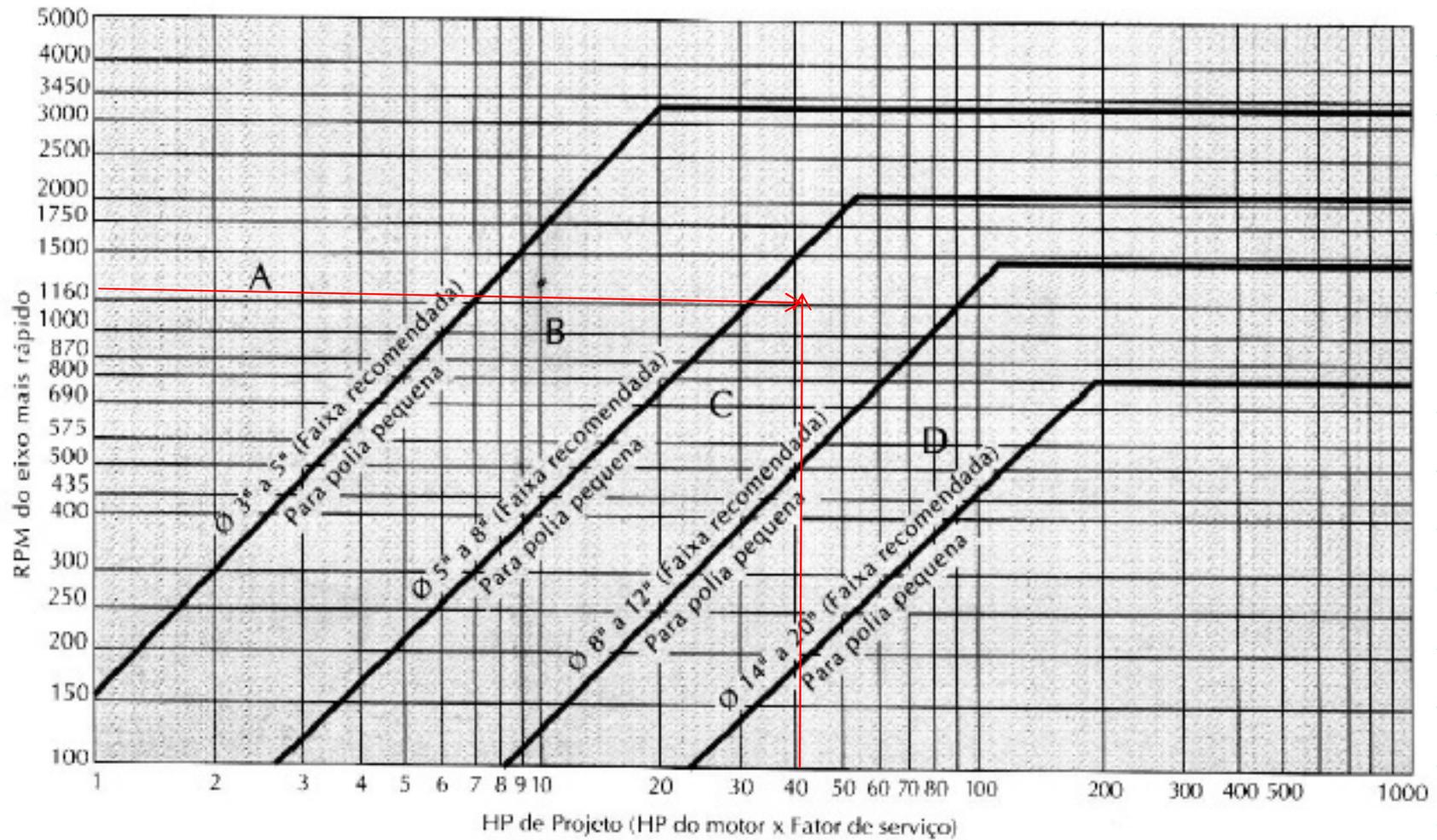


Tabela 1 - Perfil da correia – Catálogo da Goodyear

6. Exemplo de cálculo de correias em “V”

5) Velocidade tangencial da correia

$$V_1 = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60000} [m/s] = 15,31 m/s < 30,5 m/s$$

6) Distância entre centros e escolha da correia

Se não fosse fixada a distância entre centros:

$$a_{calc\ min} = \frac{3d_{1\ min} + i \cdot d_{1\ min}}{2} = \frac{3 \cdot 200 + 4,18 \cdot 200}{2} = 718\ mm$$

$$a_{calc\ max} = \frac{3d_{1\ max} + i \cdot d_{1\ max}}{2} = \frac{3 \cdot 300 + 4,18 \cdot 300}{2} = 1077\ mm$$

$$a_{calc} = \frac{a_{calc\ min} + a_{calc\ max}}{2} = \frac{718 + 1077}{2} = 897,5\ mm$$

6. Exemplo de cálculo de correias em “V”

Este valor de a (entre centros) seria aceitável num caso geral. Entretanto, nesta aplicação, a distância entre centros é menor do que o mínimo exigido. Será utilizada a distância média da faixa requerida:

$$a_{calc} = \frac{914 + 1270}{2} = 1092 \text{ mm}$$

6a) Determina-se, então o comprimento nominal da correia:

$$\begin{aligned} L_{calc} &= 2.a + 1,57.(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4.a} = \\ &= 2.1092 + 1,57.(250 + 1045) + \frac{(1045 - 250)^2}{4.1092} = 4361,84 \text{ mm} \end{aligned}$$

Usando-se a **tabela 2** relativa ao **perfil C** escolhe-se a correia **C-170**, que tem o comprimento aproximado $L_{tabelado} = 4390 \text{ [mm]}$

6. Exemplo de cálculo de correias em “V”

Finalmente, a distância entre centros corrigida será:

$$a = a_{calc} - \frac{(L_{calc} - L_{tabelado})}{2} = 1092 - \frac{(4361,84 - 4390)}{2} = 1106,08mm$$

7) Determinar o número de correias necessárias

a) Determinar ângulo de abraçamento

$$\alpha = 180 - \frac{(d_2 - d_1)}{a} \cdot 60 = 180 - \frac{(1045 - 250)}{1106} \cdot 60 = 136,87^\circ$$

6. Exemplo de cálculo de correias em “V”

7) Determinar o número de correias necessárias

b) Fatores de correção

Na (*Tabela A*) entrar com o valor calculado ($136,87^\circ$) e obter fator de correção $f_{AC} = 0,88$.

Na (*Tabela B*) entrar com perfil e comprimento da correia para obter fator de correção do comprimento $f_L = 1,04$. (Comprimento = 4390 mm (172,8 in))

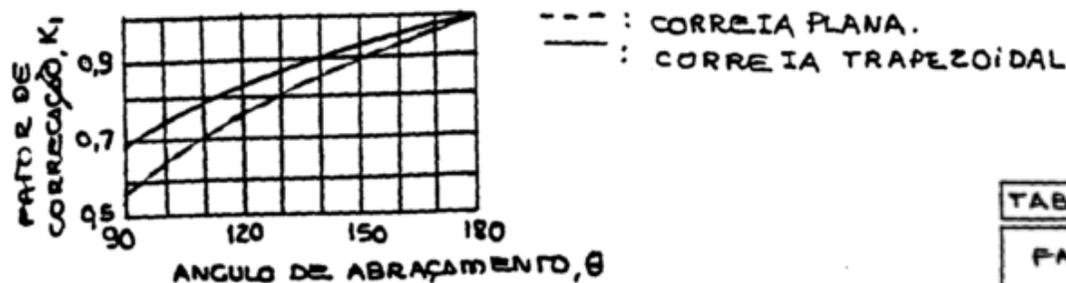


Tabela A – Fator de correção (K_1), para ângulos de abraçamentos menores do que 180° .

Tabela B – Fator de correção (K_2), devido ao comprimento da correia.

TABELA VIII FATORES DE CORREÇÃO K_2 .

| FATOR K_2 | COMPRIMENTO NOMINAL [in] | | | |
|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | SECÇÃO A | SECÇÃO B | SECÇÃO C | SECÇÃO D |
| 0,85 | ATÉ 35 | ATÉ 46 | ATÉ 75 | ATÉ 128 |
| 0,90 | 35 - 46 | 47 - 60 | 76 - 96 | 129 - 162 |
| 0,95 | 47 - 55 | 61 - 75 | 97 - 120 | 163 - 210 |
| 1,00 | 56 - 75 | 76 - 97 | 121 - 158 | 210 - 270 |
| 1,05 | 76 - 90 | 98 - 120 | 159 - 195 | 270 - 330 |
| 1,10 | 91 - 112 | 121 - 144 | 196 - 240 | 331 - 420 |
| 1,15 | ACIMA 112 | ACIMA 144 | ACIMA 240 | ACIMA 420 |

6. Exemplo de cálculo de correias em “V”

Nas tabelas de 5 e 6, por tipo de perfil, entrando com rotação maior e diâmetro da polia menor e perfil C acha-se a potência transmissível por correia $N_0 = 14,14$ [HP]

b) Uma potência adicional $N_{0ad} = 2,03$ [HP], devido à relação de transmissão pode ser adicionada à potência transmissível (conjugado de partida).

$$N_{0total} = N_0 + N_{0ad} = 14,14 + 2,03 = 16,17 \text{ HP}$$

$$N_{0efetiva} = N_{0total} \cdot f_{AC} \cdot f_L = 16,17 \cdot 0,88 \cdot 1,04 = 14,8 \text{ HP}$$

$$\text{núm. de correias} = \frac{N_{efetiva}}{N_{Transm/correia}} = \frac{42}{14,8} = 2,83 \rightarrow 3 \text{ correias}$$

Exercício proposto 1

Especifique e faça o diagrama de corpo livre do conjunto polia/ correia plana para as seguintes condições:

- Considere um motor elétrico (rotor de gaiola), com potência de 30 CV e rotação de 1750 rpm (torque normal);
- Máquina acionada: “britador de pedra”;
- Ciclo: 18 horas por dia;
- Arranque pesado e sobrecargas momentâneas;
- Polia do britador: $D = 600$ mm;
- Relação de transmissão, $i = 2,4$;
- Distância entre centros (a): 1800 a 2200 mm;
- Polias de aço, largura de 200 mm;
- Linha de centro (horizontal).



Exercício proposto 2

Selecione e especifique o número de correias planas necessárias para o acionamento de um compressor industrial. Considere os seguintes dados: acionamento feito por motor elétrico (AC), operando a uma velocidade de 1440 rpm. O compressor possui uma velocidade de operação de 900 rpm e a potência estimada de transmissão é de 20 kW.

Considere ainda, um ciclo diário de 10 horas e faça as hipóteses que julgar necessárias.

Exercício proposto 3

Liste o processo de escolha de correias em “V”. Pode ser um processo iterativo? Porque?