



DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA CÁLCULO E PADRONIZAÇÃO DE COMPONENTES MECÂNICOS PARA A ÁREA DE MINERAÇÃO - TRANSPORTADORES DE CORREIA – EIXOS DE TAMBORES

Marcelo de Araújo Marcondes, marcelo.marcondes@tecnometal.com.br¹

Alexandre Costa Calijorne, alexandre.calijorne@tecnometal.com.br¹

Marcelo Alves Gelais, gelais@tecnometal.com.br¹

Antônio Carlos Ataíde, antoniocarlos.ataide@yahoo.com.br²

Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br²

¹Tecnometal, Av. das Nações, 3801, Distrito Industrial, Vespasiano, CEP 33200.000, Minas Gerais, Brasil

²Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário, CEP 31270.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Resumo: *O projeto mecânico de componentes e equipamentos diversos na área de mineração tem apresentado ao longo dos anos um desenvolvimento surpreendente. Percebe-se uma grande diversidade de métodos de cálculo de diversos componentes mecânicos e estruturais. Com o objetivo de melhorar o desempenho dos equipamentos de transporte conhecidos como transportadores de correia muito utilizados na área de mineração, é apresentada uma metodologia de cálculo simples e objetiva de um elemento mecânico dos transportadores, a saber, eixos de tambores, visando ganhos na segurança e padronização deste componente. Apresenta-se uma explanação desta metodologia de cálculo baseada nos métodos das tensões admissíveis para os eixos, a partir da definição dos dados de entrada, do desenvolvimento da seqüência dos cálculos analíticos e das intervenções para a escolha de elementos padronizados. Como resultado propõe-se um processo de padronização deste componente considerando-se os dados estabelecidos na norma NBR-6172 que pode ser seguida pelas empresas de projetos mecânicos e pelos fabricantes. Com isso, acredita-se poder melhorar a execução dos projetos, minimizando os erros e reduzindo os tempos de planejamento, cálculo, fabricação e implantação.*

Palavras-chave: *padronização de componentes mecânicos, transportadores de correia, eixos de tambor.*

1. INTRODUÇÃO

O projeto mecânico de componentes e equipamentos nas áreas de mineração tem apresentado ao longo dos anos um desenvolvimento surpreendente. Um equipamento de interesse particular na indústria da mineração é o transportador de correia tanto para curtas quanto de longas distâncias (CEMA, 2006). No presente artigo é analisado um elemento mecânico do transportador, a saber, eixos de tambores, que apresenta uma grande variedade de métodos diferentes de cálculo e dimensionamento.

É possível desenvolver-se uma metodologia de cálculo deste componente, a partir do resgate dos métodos mais utilizados atualmente, considerando as normas, literaturas e principais referências. Isto pode levar a obtenção de um processo de padronização que é de grande interesse tanto para as indústrias de mineração, quanto para as empresas de projetos e fabricantes dos transportadores de correia. Esta metodologia de cálculo se baseia nos métodos das tensões admissíveis para os eixos, a partir da definição dos dados de entrada, do desenvolvimento da seqüência dos cálculos analíticos e das intervenções para a escolha de elementos padronizados.

O enfoque aqui apresentado é o do desenvolvimento de uma metodologia de cálculo simples e prática, visando ganhos na segurança e padronização dos componentes. Como resultado propõe-se um processo de padronização deste componente considerando-se os dados estabelecidos na norma NBR-6172 que pode ser seguida pelas empresas de projetos mecânicos e pelos fabricantes. Com isso, acredita-se poder melhorar a execução dos projetos, minimizando os erros e reduzindo os tempos de planejamento, cálculo, fabricação e implantação.

2. DIMENSIONAMENTO DO EIXO DO TAMBOR

De uma forma geral, os transportadores de correia são constituídos por um ou mais acionamentos que, por meio de tambores sustentados em seus eixos por mancais de rolamentos tracionam esteiras ou correias de borracha sobre as quais o material granulado é transportado. Cada transportador de correia irá apresentar características bastante

individuais e peculiares conforme sua aplicação, conforme o material a ser transportado e também de acordo com o perfil do terreno e as distâncias e diferentes elevações entre o carregamento e a descarga do material (NBR 6177, 1999).

Tem-se assim, transportadores com perfis diversos, mas normalmente compostos em sua esmagadora maioria dos seguintes subconjuntos:

- 1) Acionamento composto de motor, redutor, acoplamentos, freios e dispositivos contra-recuo;
- 2) Tambores metálicos compostos de eixo, discos laterais, discos internos enrijecedores, casco, cubos, mancais de rolamento nas pontas dos eixos e revestimento do casco em borracha e/ou cerâmica;
- 3) Esteira ou correia de elastômero com ou sem outros elementos internos como lonas, cabos de aço ou tramas metálicas;
- 4) Roletes tanto de carga quanto de retorno onde se apóia a correia durante o transporte;
- 5) Itens diversos de caldeiraria como chutes de descarga, cobertura sobre a correia, caixa de lastro ou contrapeso do sistema de esticamento e proteções para partes girantes como tambores e eixos diversos;
- 6) Estruturas metálicas como colunas, pontes treliçadas, galerias treliçadas, estruturas tipo longarina, bases de acionamentos, bases suporte de tambores e estruturas de suporte dos contrapesos do sistema de esticamento;
- 7) Dispositivos diversos como limpadores e raspadores de borracha, chaves e dispositivos elétricos diversos;

2.1. Tambores

Os tambores são componentes primordiais para o funcionamento dos transportadores, pois são eles que transmitem o movimento rotativo do acionamento, do eixo de saída dos redutores de velocidade para a correia, tracionando a mesma, juntamente com o material transportado, vencendo as distâncias e as resistências diversas, bem como promovendo as mudanças de direção da correia de forma a ter-se o perfil desejado do transportador.

Neste sentido, tem-se normalmente o tambor de descarga, os tambores de desvio diversos, os tambores de acionamento, o tambor de esticamento e o tambor de retorno conforme indica esquematicamente a Fig. (1) (NBR-6177, 1999). Para o dimensionamento do eixo será considerado o tambor de acionamento por se tratar do caso mais crítico.

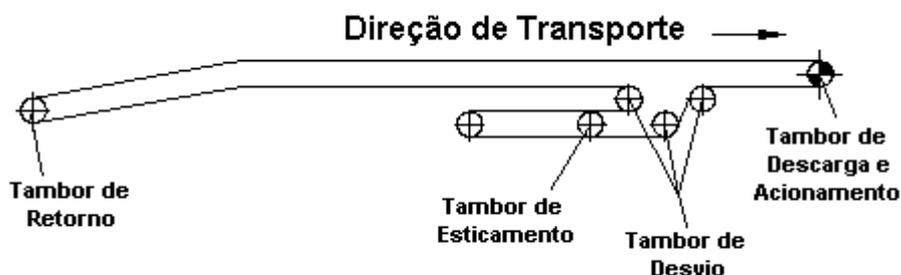


Figura 1. Desenho esquemático de um transportador de correia.

A Figura (2) indica um tambor de acionamento típico mostrando seus diversos itens.

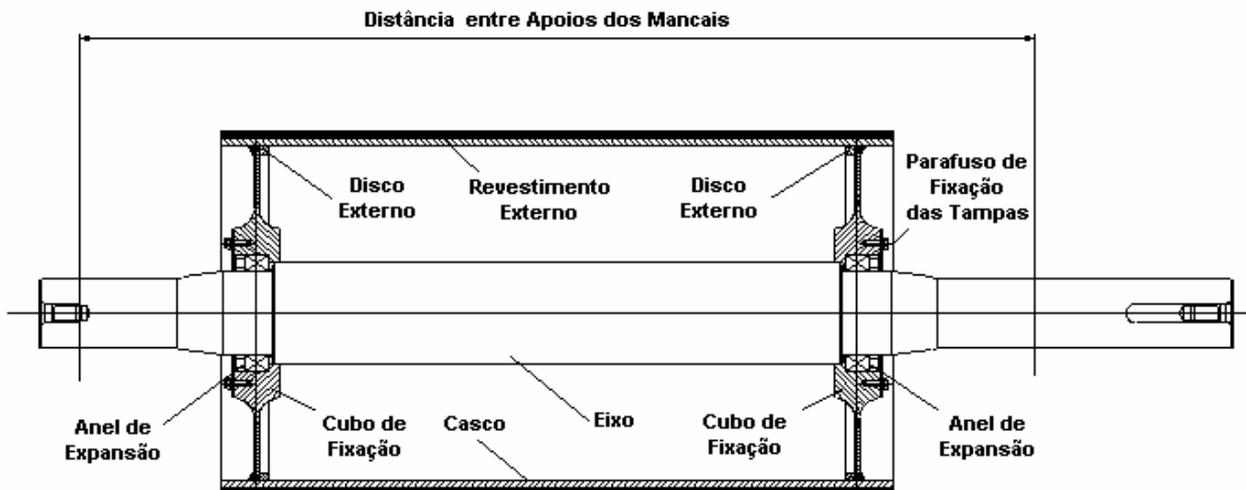


Figura 2. Tambor de acionamento típico.

2.1.1. Esforços e tensões atuantes no eixo

Para o dimensionamento do eixo do tambor, faz-se necessário analisar os esforços atuantes e as principais interações entre o eixo e os demais elementos.

Podem-se considerar os seguintes elementos: o acoplamento de baixa velocidade que transmite o esforço de torção proveniente do acionamento através da chaveta ou anel de expansão; a correia que transmite as tensões de resistência de todo o transportador para a casca do tambor e desta por meio dos discos externos para os cubos e deles as forças atuam diretamente no eixo; mancais de rolamento que reagem no eixo aos esforços aplicados.

Ao mesmo tempo, estará atuando no eixo por meio da interação com os cubos o peso próprio P de todo o conjunto do tambor (exceto o próprio eixo) e ao longo do eixo atuará o seu peso próprio q distribuído de acordo com sua geometria, dimensões e escalonamento adotado.

Na ponta do eixo haverá torção gerada pelo acionamento ou a torção de frenagem. Caso haja duas pontas, esta deverá ser calculada considerando a torção nas duas partes ao mesmo tempo. Quando aplicável, freios ou conjuntos contra-recuo poderão atuar diretamente nos eixos com torque de frenagem.

Uma vez que o acionamento do transportador já tenha sido calculado, tem-se o conhecimento das duas tensões conhecidas como $T1$ e $T2$ atuantes no tambor e que são, respectivamente a tensão na parte superior ou no lado de carga e a tensão inferior ocasionada pelo esforço do esticamento e responsável por manter o atrito entre o revestimento do tambor e a correia evitando que o tambor deslize e não consiga transmitir o torque do motor para a correia. As Figuras (3) e (4) indicam o esquema de forças respectivamente aplicadas no tambor de acionamento e em seu eixo.

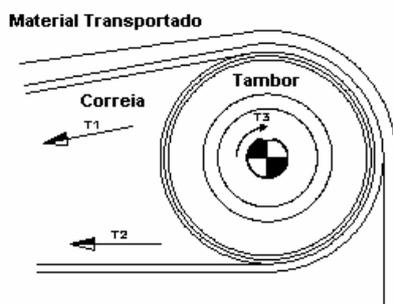


Figura 3 Esquema de forças aplicadas em um tambor de acionamento

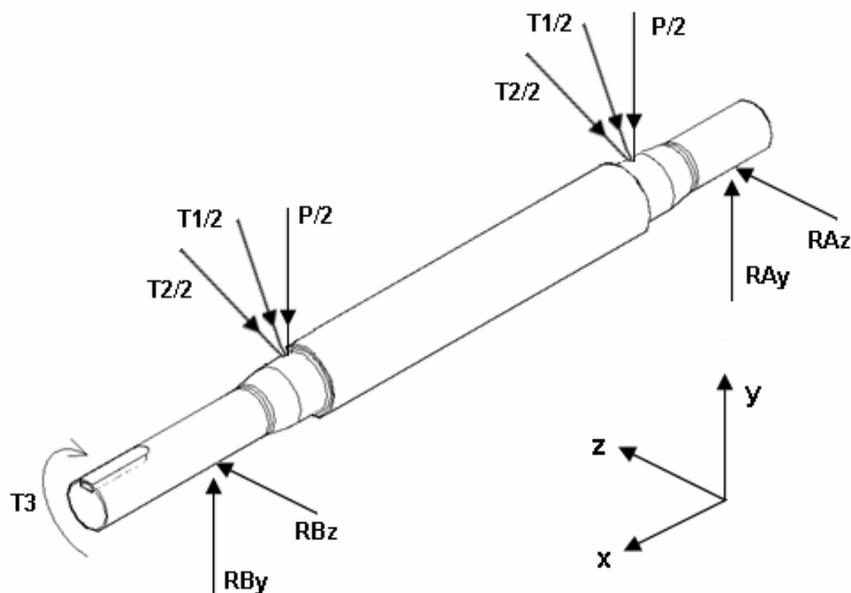


Figura 4. Esquema de forças aplicadas ao eixo de um tambor de acionamento.

Em função das cargas indicadas, podem-se determinar os momentos fletores ao longo do eixo nos planos XY e XZ bem como o momento torçor proveniente do acionamento do transportador, considerando-se a distribuição de forças indicadas na Fig. (5) (Beer, 2008).

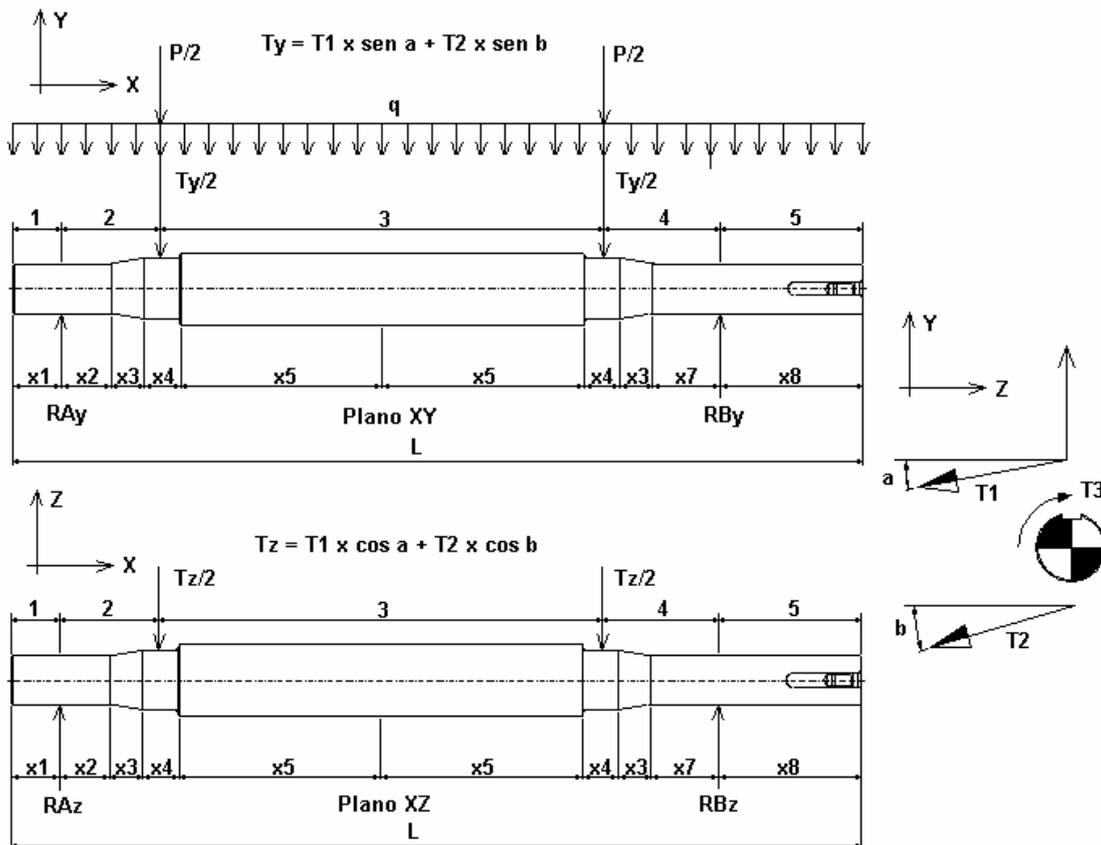


Figura 5. Decomposição das forças nos planos XY e XZ.

No plano XY haverá superposição dos efeitos das forças. Os diagramas de momentos fletores nos planos XY e XZ obedecerão em cada trecho às equações indicadas nas Tab. (6) e Tab. (7).

Tabela 6. Momentos fletores em cada trecho no plano XY.

Plano XY	
Trecho	Momento Fletor
1	$My1 = -qL^2/2$
2	$My2 = (P/2+Ty/2+qL/2)(L - x1) - qL^2/2$
3	$My3 = (P/2+Ty/2+qL/2)(L - x1) - qL^2/2 - (Pp/2+Ty/2)(L - x1 - x2 - x3 - x4/2)$
4	$My4 = ((P/2+Ty/2)+qL/2)(L-x1) - qL^2/2 - 2(P/2+Ty/2)(L - x1 - x2 - x3 - x4 - x5)$
5	$My5 = (P/2+Ty/2+qL/2)(2L - 2x1 - x2 - 2x3 - 2x4 - 2x5 - x7) - qL^2/2 - 2(P/2+Ty/2)(L - x1 - x2 - x3 - x4 - x5)$

Tabela 7. Momentos fletores em cada trecho no plano XZ.

Plano XZ	
Trecho	Momento Fletor
1	$Mz1 = 0$
2	$Mz2 = (Tz/2)(L - x1)$
3	$Mz3 = (Tz/2)(x2+x3+x4/2)$
4	$Mz4 = (Tz/2)L - (Tz/2)(x1+2x2+2x3+2x4+2x5)$
5	$Mz5 = 0$

O momento torçor pode ser calculado a partir da Eq. (8) (Juvinall,2003).

$$T = \frac{9550 \cdot N}{n} \quad (8)$$

Onde:

T – Momento torçor no eixo do tambor (N.m)
 N – potencia nominal do motor (kW)
 n - rotação da ponta do eixo do tambor (rpm)

Rotação n pode ser obtida considerando-se a rotação do motor dividida pela relação de redução do redutor de velocidades.

O diâmetro do eixo em uma dada seção será calculado considerando-se o momento atuante nesta seção e o momento torçor atuante, como indica a equação Eq. (9), (Shighey, 2005; Collins, 2006)

$$d = \sqrt[3]{\frac{(kc \cdot kf \cdot My)^2 + (kc \cdot kf \cdot Mz)^2 + (kc' \cdot kt \cdot T)^2}{\tau_{adm}}} \quad (9)$$

Onde:

d - diâmetro d o eixo
 kc – fatores de concentração de tensões para flexão
 kc' – fatores de concentração de tensões para torção
 kf – fator de carga dinâmica devido a flexão
 kt - fator de carga dinâmica devido a torção
 T – momento torçor
 My – momento fletor no plano XY
 Mz – momento fletor no plano XZ
 τ_{adm} – tensão de cisalhamento a torção admissível

A tensão de cisalhamento a torção admissível é calculada segundo a Eq. (10):

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_{esc} \cdot b_o \cdot b_d}{FS \cdot F_s \cdot \beta_{kb}} \quad (10)$$

Onde:

τ_{esc} . - tensão de escoamento ao cisalhamento do material escolhido.
 b_o - fator de correção em função do acabamento do material do eixo.
 b_d é o fator de correção em função do diâmetro.
 FS . - fator de segurança
 F_s - fator de serviço
 β_{kb} é o fator de entalhe

Caso a fixação do eixo no tambor seja feita por anel de expansão, não é necessário o emprego do fator de concentração de tensões para torção kc' na seção correspondente do referido eixo. Se for usada uma fixação por chavetas este fator deverá ser levado em conta.

3. METODOLOGIA DE PADRONIZAÇÃO DO EIXO DO TAMBOR

Para a padronização do eixo do tambor foi utilizada a norma NBR-6172 que pré-estabelece relações entre a largura da correia a ser utilizada, o diâmetro do tambor e quatro valores de diâmetro ao longo do eixo do tambor. A partir disto fica definida um relação de proporção dimensional para este conjunto sem, entretanto definir sua capacidade de transmissão.

A norma NBR-6172 indica a codificação dos tambores conforme segue abaixo:

F / G / S / R – XXXX - xxxx – xxx – xxx – xxx – xxx, onde:

F = Quanto à função (A = de acionamento, L = livre);
 G = Quanto à geometria (P = plano, B = abaulado);
 S = Quanto à superfície de contato (R = revestido, S = não revestido);
 R = Quanto ao revestimento (O = liso, E = espinha de peixe, D = diamante);

XXXX = largura da correia em milímetros;

xxxx = diâmetro do tambor em milímetros;

xxx = diâmetros do eixo respectivamente no mancal d1, d2, d3 e d4

Os valores dos diâmetros definidos pela norma correspondem às seções mais significativas para o dimensionamento e são os seguintes:

- d1 - diâmetro do eixo no apoio do mancal que corresponde ao ponto da força de reação RA.
- d2 - diâmetro do eixo no cubo no ponto de aplicação das forças diversas do corpo do tambor.
- d3 - diâmetro do eixo entre cubos no ponto médio do trecho 3.
- d4 - diâmetro do eixo na ponta chavetada no meio do trecho 5.

A partir do levantamento de todos os dados necessários para a resolução das Eq. (8), Eq. (9) e Eq. (10) e da adoção de materiais e elementos mecânicos padronizados, tais como parafusos, anéis de expansão e chavetas, desenvolveu-se uma metodologia de padronização utilizando um processo de cálculo reverso com obtenção da capacidade de cada conjunto tambor/eixo estabelecido pela norma, através da potência máxima admissível de acionamento (N) e a combinação máxima de tensão permitida no tambor ($T1+T2$).

Considerando-se a adoção dos materiais e elementos mecânicos padronizados abaixo é possível obter-se a Tab. (11) de conjuntos tambor/eixo padronizados baseada a norma NBR-6172, onde foram acrescentadas as colunas indicando a o os valores da potência máxima admissível de acionamento (N) e a combinação máxima de tensão permitida no tambor ($T1+T2$) oriundos do processo de cálculo reverso. A tabela foi reduzida, omitindo-se as larguras de correias de 500, 600, 650, 800, 1200, 1600, 2000, 2200 e 2400 mm. Foram adotados os seguintes dados que são usualmente aplicados nos projeto de correias transportadoras.

Material do Eixo – Aço ABNT - 4140;

Perfis laminados em geral – Aço ASTM A-36;

Parafusos de fixação – ASTM A-325;

Motor – Trifásicos, Assíncronos de indução de 4 pólos.

Relação de redução do redutor de velocidade – 1/28

4. CONCLUSÃO

Estabelecendo-se uma tabela de padronização como a Tab. (11) será possível resolver qualquer caso prático de aplicação de tambores em transportadores de correia. Sabendo-se as tensões $T1$ e $T2$ fica fácil definir qual dos conjuntos tambor/eixo padrão poderá ser utilizar em dada aplicação.

A tabela de padronização exemplificada poderá e deverá ser alterada com o tempo a fim de incorporar inovações ou mesmo eliminar alguns padrões estabelecidos na norma que possam vir a demonstrar pouca utilização. Casos particulares e solicitações dos clientes também poderão passar a incorporar o padrão acima apresentado.

Desenvolvendo-se um processo de automatização a partir desta metodologia de padronização é possível, com o auxílio do computador, obter um processo dinâmico de entrada de dados e geração de tabelas, que em conjunto com desenhos de conjunto e de detalhamento, agilizará bastante o cálculo, fabricação e implantação de transportadores de correia.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Tabela 11. Conjuntos tambor/eixo padronizados baseada a norma NBR-6172

Código	L. Correia (mm)	D. Tambor (mm)	Diâmetros do eixo (mm)				P. Máxima Acionamento (kW)	Combinação Máxima (T1+T2) (N)
			d1	d2	d3	d4		
APRD-0400-0200-xxx-xxx-xxx-xxx	400	200	40	70	100	40	3,7	10000
APRD-0400-0250-xxx-xxx-xxx-xxx		250	50	90	100	50	9,2	18000
APRD-0400-0315-xxx-xxx-xxx-xxx		315	60	100	130	60	18,5	19000
APRD-0400-0400-xxx-xxx-xxx-xxx		400	70	110	130	70	22	46000
APRD-1000-0400-xxx-xxx-xxx-xxx	1000	400	70	110	130	70	15	14000
APRD-1000-0500-xxx-xxx-xxx-xxx		500	80	120	150	80	37	22000
APRD-1000-0630-xxx-xxx-xxx-xxx		630	90	120	150	90	55	22000
APRD-1000-0800-xxx-xxx-xxx-xxx		800	100	130	170	100	75	38000
APRD-1000-1000-xxx-xxx-xxx-xxx		1000	110	150	190	100	110	54000
APRD-1000-1250-xxx-xxx-xxx-xxx		1250	125	170	210	115	132	86000
APRD-1000-1250-xxx-xxx-xxx-xxx		1250	140	200	250	130	185	158000
APRD-1800-0500-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-1800-0630-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-1800-0800-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-1800-1000-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-1800-1250-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-1800-1400-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-1800-1600-xxx-xxx-xxx-xxx	1800	500	110	150	190	100	112	22000
			125	170	210	115	150	34000
		630	140	200	250	130	180	66000
			160	220	270	150	315	98000
		800	180	240	290	170	400	142000
			200	260	310	180	710	182000
		1000	220	280	340	200	800	266000
			240	300	360	220	1120	338000
		1250	260	320	390	240	1250	462000
			280	340	410	260	1600	590000
		1400	300	360	440	280	1800	742000
			320	380	460	300	2250	918000
		1600	340	400	480	320	2250	1122000
			360	420	500	340	3150	1334000
APRD-2600-0800-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-2600-1000-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-2600-1250-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-2600-1400-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-2600-1600-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-2600-1800-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-2600-2000-xxx-xxx-xxx-xxx APRD-2600-2250-xxx-xxx-xxx-xxx	2600	800	200	260	310	180	710	94000
			220	280	340	200	900	130000
		1000	240	300	360	220	1120	170000
			260	320	390	240	1400	226000
		1250	280	340	410	260	1800	286000
			300	360	440	280	2250	370000
		1400	320	380	460	300	2250	454000
			340	400	480	320	3150	554000
		1600	360	420	500	340	3150	666000
			380	440	520	360	3150	794000
		1800	400	460	540	380	3150	942000
			430	500	580	400	3150	1282000
		2000	450	520	600	420	3150	1490000
470	540		620	440	3150	1722000		

6. REFERÊNCIAS

- Beer, F.P., Johnston Jr., E.R., Russel, E., 2008, “Resistência dos Materiais”, 3ª Edição, Pearson, pp. 1020.
- Conveyor Equipment Manufacturers Association, 2006, “Belt Conveyors for Bulk Materials” - Michael T. Myers, 6th Edition, CEMA, pp.81.
- Collins, J.A., 2006, “Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas”, 1ª Edição, LTCE, pp.760.
- Juvinal, R.C., Marshek, K.M., 2003, “Fundamentals of Machine Component Design”, 3rd Edition, Willey, pp.912
- Norma ABNT NBR-6172, 1995, “Transportadores contínuos – Transportadores de correia – Tambores – Dimensões”.
- Norma ABNT NBR-6177, 1999, “Transportadores contínuos – Transportadores de correia – Terminologia”.
- Shighey, J., Mischke, C.R., 2005, “Projeto de Engenharia Mecânica”, 7ª Edição, Bookman, pp. 960.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

DEVELOPMENT OF THE STANDARDIZATION METHODOLOGY FOR OF MECHANICAL COMPONENTS IN THE MINING AREA CONVEYORS BELT - AXIS PULLEY

Marcelo de Araújo Marcondes, marcelo.marcondes@tecnometal.com.br¹

Alexandre Costa Calijorne, alexandre.calijorne@tecnometal.com.br¹.

Marcelo Alves Gelais, gelais@tecnometal.com.br¹

Antônio Carlos Ataíde, antoniocarlos.ataide@yahoo.com.br²

Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br²

¹Tecnometal, Av. das Nações, 3801, Distrito Industrial, Vespasiano, CEP 33200.000, Minas Gerais, Brazil.

²Federal University of Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário, CEP 31270.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

***Abstract.** The mechanical design of components and other equipment in the mining industry has shown over the years a surprising development. It has a largest variety of methods of calculation of various mechanical and structural components. In order to improve the performance of transportation equipment known as belt conveyors and must used in mining area, the present paper shows a easy and direct methodology of the axis pulley, to achieve gains in security and standardization of this component. It presents an explanation of the methodology based on the allowable tension for the axes from the definition of input data, the development of the sequence of analytical calculations and statements for the choice of standardized elements. As a result is proposed a standardization process this component considering the data established in NBR-6172 norm, which can be followed by mechanical engineering and manufactures companies. Thus, it is believed able to improve project execution, minimizing errors and reducing the time of planning, calculation, manufacture and deployment.*

***Keywords:** Standardization of mechanical components, belt conveyors, axis pulley*