

Dimensionamento de componentes para um enrolador de correias transportadoras visando a melhoria das operações de uma mineradora de bauxita

Component sizing for a conveyor belt reel to improve the operations of a bauxite mining company

DOI:10.34117/bjdv7n6-468

Recebimento dos originais: 07/05/2021

Aceitação para publicação: 21/06/2021

César Tadeu Nasser Medeiros Branco

Mestre em engenharia mecânica e doutorando pela UFSC

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n. Florianópolis-SC

E-mail: engmbcesar@gmail.com

Jullyane Milena Silva de Figueiredo

Mestranda em engenharia mecânica pela UFSC

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n. Florianópolis-SC

E-mail: jullyane.figueiredo17@gmail.com

Roberto Tetsuo Fujiyama

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa, nº 01. Belém-PA

E-mail: fujiyama.ufpa@gmail.com

RESUMO

As correias transportadoras são solicitadas a esforços que causam desgaste excessivo e precoce na cobertura e nas bordas. Quando o desgaste se torna evidente e a camada da correia alcança um limite inferior, ocorre o momento da troca. Em uma mineradora no Estado do Pará a troca é feita por um trator puxando a correia velha e já passando a correia nova pelo transportador. Após a troca, a correia fica no pátio de operações e espera um outro momento para ser retirada. A partir desses fatos, surgiu a necessidade de projetar uma máquina capaz de enrolar essas correias e otimizar o descarte do rolo tendendo a reaproveitá-las. Portanto, este trabalho trata de cálculos de dimensionamento e seleção de componentes para um enrolador de correias transportadoras partindo de suas dimensões para transporte, capacidade estrutural e operacional do enrolador. A metodologia de desenvolvimento do trabalho foi realizada por meio da definição de parâmetros de funcionamento da máquina e análise estrutural dos componentes do enrolador. A etapa de análise estática dos componentes da estrutura do enrolador, foi conduzida por meio de simulações numéricas, analisando as tensões equivalentes, deslocamento e fator de segurança, que protege a estrutura do limite de escoamento do material. Os componentes, como redutor e motor trifásico, foram selecionados para uma potência de 25hp e as análises estruturais são para elementos da máquina como: estrutura de suporte, extensão

do eixo do redutor, eixo de rotação principal e semi-eixo de acoplamento à máquina. O fator de segurança de todos os componentes que foram simulados, apresentaram valores maiores que 1,57 o que garantiu a total integridade dos elementos durante as simulações.

Palavras-chave: Enrolador de correias, correias transportadoras, dimensionamento, fator de segurança, elementos de máquina.

ABSTRACT

Conveyor belts are subjected to efforts that cause excessive and premature wear on the top and edges. When wear becomes evident and the belt layer reaches a lower limit, changeover time occurs. In a mining company in the State of Pará, the substitution is made by a tractor pulling the old belt and passing the new belt through the conveyor. After the substitution, the belt lays in the operations yard and waits for another moment to be removed. From these facts, the need arose to design a machine capable of winding these belts and optimizing the disposal of the roll and reuse them. Therefore, this work deals with engineering design and component selection for a belt winder, starting from its transport dimensions, structural and operational capacity of the winder. The methodology for developing the work was carried out by defining the machine's operating parameters and structural analysis of the components of the belt winder. The static analysis step of the components of the winder structure was conducted through numerical simulations, analyzing the equivalent stresses, displacement and safety factor, which protects the structure from the material yield limit. The components, such as gearbox and three-phase motor, were selected for a power of 25hp and the structural analyzes are for machine elements such as: trusses structure, gearbox shaft extension, main rotation shaft and machine coupling half-shaft. The safety factor of all components that were simulated presented values greater than 1.57, which ensured the total integrity of the elements during the simulations.

Keywords: belt winder, conveyor belts, design, safety factor, machine elements.

1 INTRODUÇÃO

A correia transportadora é o principal elemento que conduz o material de um extremo a outro. Contudo, a correia recebe muito impacto do minério quando cai dos chutes. Os chutes são peças defletoras de direção do material dentro de uma fábrica. Chutes mal posicionados, correia desalinhada, rolos travados e acúmulo de material podem gerar desgaste por abrasão na cobertura superior da borracha da correia, surgindo riscos e rasgos na correia. Com o surgimento dos defeitos, pequenos reparos de emendas são realizados na correia. Quando o desgaste chega próximo à lona ou ao cabo de aço da correia é necessária realizar a troca da mesma.

A troca da correia envolve tratores e operários: o trator para puxar a correia velha do transportador e, ao mesmo tempo, puxar o rolo novo e os operários para auxiliar na troca. Um conceito, que não se utiliza um trator para puxar a correia, mas sim um

enrolador/desenrolador, foi desenvolvido com a capacidade de enrolar a correia velha ao passo que desenrola o rolo novo no transportador (Joshi, 2010).

Em uma mineradora no norte do Brasil acontece que a correia velha quando é retirada do transportador fica jogada no chão da planta em forma de tiras. As tiras são retiradas bem depois da troca da corria. A empresa, além de não organizar o local de descarte conforme o padrão 5S exigido pelo sistema da mesma, não recicla as correias velhas. A reciclagem dessas correias e a posterior aplicação em forros de caminhões e de caminhonetes, cabos de aço para currais, cochos de animais é uma realidade presente em outra mineradora na mesma região (ABCCEM, 2013).

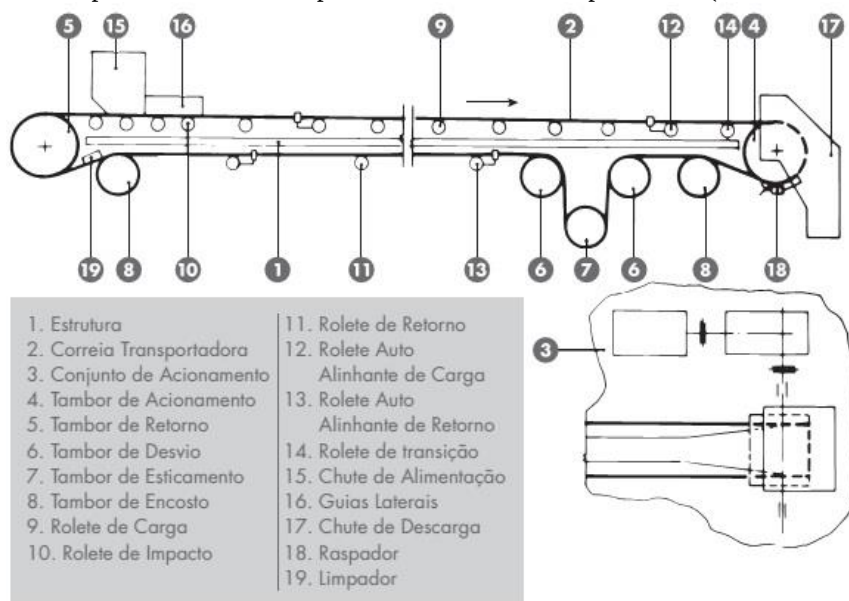
Dessa forma, o presente trabalho propõe o projeto de um enrolador de correias transportadoras, mostrando os resultados de seleção dos elementos mecânicos para o dimensionamento da máquina, como corrente de rolos, redutor e motor. O trabalho também apresenta os resultados da simulação dos eixos e da estrutura do enrolador. As simulações tratam do fator de segurança desses componentes, para que o material não ultrapasse o limite de escoamento, já que o material utilizado foi o aço estrutural A36.

2 REFERENCIAL TEÓRIO

2.1 TRANSPORTADOR DE CORREIAS

De acordo com Mercúrio (2013), um transportador de correia envolve vários elementos que devem ser bem analisados, pois todos têm fundamental importância para o correto funcionamento do equipamento. Os principais componentes estão ilustrados na Fig. (1).

Figura 1. Componentes de um transportador de correias transportadoras (MERCÚRIO, 2013).



2.2 MANUTENÇÃO DA CORREIA

As correias são constantemente solicitadas por diversos esforços, seja por abrasão do minério na sua cobertura, desalinhamento de rolos, de tambores e da correia em relação ao transportador, alta velocidade de operação e o surgimento de pedras sob os tambores e a correia causam o desgaste excessivo da mesma. Oito anos é o tempo de vida útil aproximado da correia. Depois deste tempo, o desgaste leva o material ao total descarte (ABCEM, 2013). Em uma determinada empresa de mineração do norte do país, uma das técnicas de manutenção preventiva é através de um ultrassom que mede a espessura das correias periodicamente. Com esse parâmetro é possível prever as trocas das correias quando elas chegam a um valor limite estipulado por cada fabricante, ou quando ela chega próxima à lona ou ao cabo de aço.

2.3 TROCA DA CORREIA

A troca da correia consiste em, primeiramente, posicionar e alinhar o rolo novo próximo ao transportador conforme a Fig. (2a). A correia nova é grampeada com a correia velha do transportador, como visto na Fig. (2b) e um trator puxa a correia velha realizando a passagem da correia nova no transportador (Fig. (2c) e Fig. (2d)).

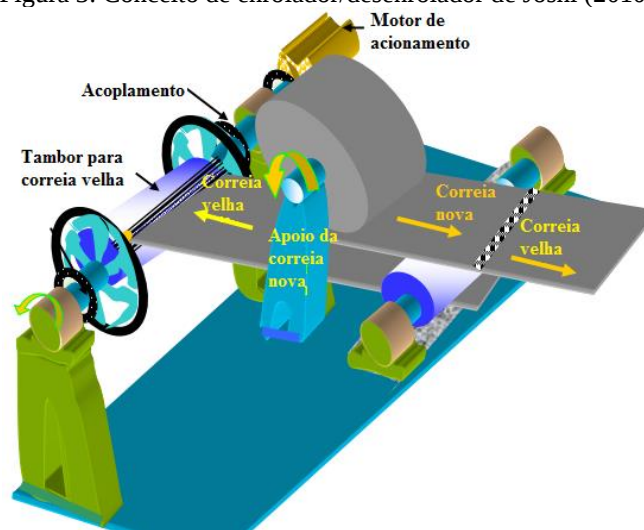
Figura 2. Esquema da troca de uma correia: (a) posicionamento do rolo novo, (b) fixação da correia nova com a correia velha por meio de grampos, (c) amarração na correia e (d) trator para puxar.



2.4 CONCEITO DE MÁQUINA ENROLADORA E DESENROLADORA

De acordo com Joshi (2010), o conceito de um enrolador/desenrolador consiste em uma máquina capaz de enrolar a correia velha do transportador, na medida em que se desenrola o rolo novo e a passa no transportador, conforme pode ser visto na Fig. (3).

Figura 3. Conceito de enrolador/desenrolador de Joshi (2010).



A fabricação de um enrolador/desenrolador, além de considerar a potência de acionamento da correia que está sendo bobinada, ou seja a potência para enrolar, também leva em consideração os esforços e atritos para puxar a correia velha do transportador, elevando os custos de fabricação da máquina e o porte dos elementos de máquina. Sendo assim, o presente trabalho realiza cálculos para uma máquina capaz somente de enrolar correias transportadoras, já retiradas do transportador e prontas para serem bobinadas

3 METODOLOGIA PARA O ESTUDO DE CASO

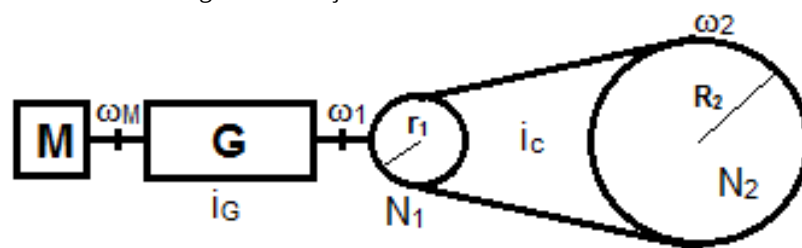
Para o projeto do enrolador, são necessários alguns cálculos para a seleção da potência de acionamento do sistema do enrolador. Branco e Fujiyama (2016) demonstram em seu trabalho alguns procedimentos prévios para a determinação de parâmetros da correia, como espessura e tipo da lona, comprimento da correia, raio da bobina a cada volta (R_N) em que a correia é enrolada e a massa de correia enrolada (M_E). Uma análise dinâmica do movimento rotacional da bobina na máquina foi realizada para encontrar os valores do momento de inércia de massa (I_0) e da aceleração angular (α). Com esses valores foi possível determinar a potência de acionamento do sistema.

Em seguida, os componentes foram selecionados conforme a potência e rotação de funcionamento da máquina. Após a seleção dos componentes, foi realizado o dimensionamento da estrutura do enrolador e dos demais componentes, seguidas das análises computacionais da máquina que foram abordadas neste trabalho.

3.1 CÁLCULOS PARA A SELEÇÃO DO MOTOR E REDUTOR

A seleção do motor e do redutor, depende da rotação de saída para o eixo principal do enrolador. A Fig. (4) relaciona o sistema de transmissão do enrolador de correias, na qual o sistema de transmissão foi definido por um motor (M), redutor (G) e corrente de rolos. A rotação do motor (ω_M) foi selecionada conforme a escolha do motor. A rotação de saída do eixo do redutor e de entrada na polia da corrente de rolos (ω_1) é determinada pela caixa redução (i_G) selecionada. Por fim, a rotação de saída para o eixo principal (ω_2) foi dada conforme a especificação do cliente.

Figura 4. Relação de transmissão do sistema.



Assim, cabe ao projetista a determinação da taxa de redução que o elemento mecânico da caixa de engrenagens realizará, partindo da rotação de saída para o eixo principal. A Eq. (4) relaciona todas as taxas de transmissões entre os elementos mecânicos

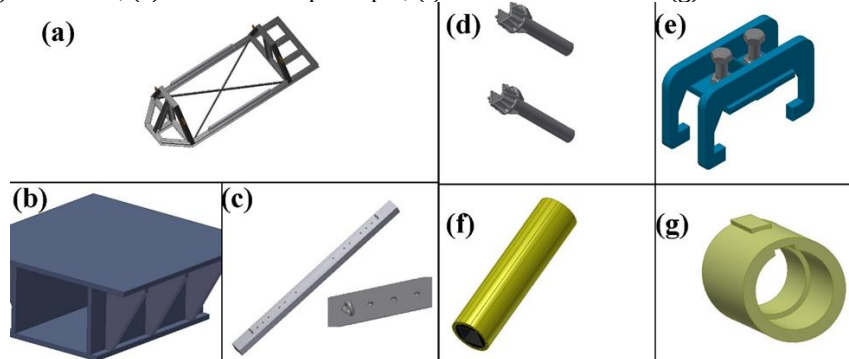
do sistema, onde N_2 e N_1 representam o número de dentes da coroa dentada maior e menor, respectivamente.

$$i_G = \frac{N_1}{N_2} \times \frac{\omega_M}{\omega_2} \quad (4)$$

3.2 CONHECENDO OS ELEMENTOS PARA A SIMULAÇÃO

A Fig. (5) ilustra alguns elementos que compõem o enrolador de correias nos quais foram simulados individualmente por meio da análise de carregamento estático.

Figura 5. Elementos do enrolador de correias: (a) estrutura metálica, (b) base para o mancal, (c) eixo principal, (d) semi-eixo, (e) trava do eixo principal, (f) tambor de madeira e (g) extensão do eixo do redutor.



Na Fig. (5a) tem-se a estrutura do enrolador de correias. Ele foi projetado para suportar o peso da correia inteira e acomodar-se dentro do caminhão de transporte. A estrutura foi feita com viga de perfil W150x22,5 e de material de aço estrutural. Na Fig. (5b) tem-se a base do mancal. São chapas de 1/2" responsáveis por apoiar os semi-eixos e o eixo do enrolador. A Fig. (5c) mostra o eixo principal de material aço estrutural. O eixo tem 157x157mm de seção transversal com um furo quadrado de 117x117mm para redução da massa do eixo e 2870mm de comprimento total. Os semi-eixos da Fig. (5d) servem de apoio para o eixo principal e são responsáveis por transmitir torque e potência ao eixo principal. Como ilustrado na Fig. (5e) o trava-eixo é um componente para fixar o eixo ao semi-eixo, permitindo a retirada do rolo após o fim do bobinamento. O trava-eixo é uma peça formada por três chapas de 5/8". Os materiais do trava-eixo também são de aço estrutural. Os dois parafusos e as duas porcas têm 27mm de diâmetro. As simulações levam em conta os esforços nos parafusos quando o trava-eixo está de ponta cabeça e um quarto do peso da correia está agindo em cada um deles. O tambor de madeira é o local

onde a correia vai ser enrolada, conforme ilustrada na Fig. (5f). Como a largura da roda dentada menor era maior que a largura do eixo de saída do redutor, foi necessária a fabricação de uma extensão para o eixo redutor, conforme ilustra a Fig. (5g).

3.3 CONSIDERAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DA MÁQUINA

As dimensões da máquina de enrolar correias transportadoras devem ser menores que as especificações do caminhão de transporte, a fim de possibilitar o deslocamento da estrutura. O caminhão de transporte suporta até 7,5t e as dimensões da base são de 6,30x2,40m.

A rotação aplicada no eixo principal foi determinada conforme as especificações da Veyance (2013). Já o peso, o comprimento máximo da correia e o diâmetro de bobinamento foram definidos conforme o levantamento de dados e a aplicação da máquina em uma mineradora da região norte do país. Dessa forma, os parâmetros iniciais de fabricação do enrolador de correias foram resumidos na Tab. (1). O carregamento aplicado no eixo principal foi determinado conforme a razão entre o peso máximo da correia pela largura do eixo, com o valor e 100kN/m e os apoios com valor de 50kN/m.

Tabela 1. Especificações de projeto da máquina.

Rotação do eixo principal	6rpm
Peso máximo da correia na estrutura	22t
Largura máxima da correia	2200mm
Comprimento máximo da correia	350m
Diâmetro de bobinamento da correia	3m
Seção do eixo principal	157x157
Acionamento do enrolador e transmissão de potência	Motor, redutor e corrente de rolos
Dimensões e peso admissível do enrolador	<6,30m; <2,40m; <7,50t

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADO DA SELEÇÃO DO MOTOR E REDUTOR

A potência máxima para as considerações realizadas foi de 25hp e o torque máximo encontrado foi de 30kNm. Com os valores da potência calculados, o motor selecionado foi o W22 IR2 da WEG®, com potência de 30hp (22kW) e rotação de 1765rpm. Com a rotação de entrada no motor e a rotação de saída para o eixo principal definida como 6rpm, foi necessário escolher outros dois elementos que garantissem a taxa de redução final de 6rpm. Com isso, foi selecionado o redutor da Falk V-Class®, modelo VRC3-127 com entrada perpendicular e com redução tripla de 1:125 ($i_G=125$). Essa taxa de redução foi o valor máximo encontrado para o redutor que possibilitou uma velocidade de saída

de 14,62rpm. Para alcançar a velocidade de saída para o eixo principal, foi necessário selecionar correntes de rolo na taxa de 1:2, finalizando com a velocidade de rotação do eixo principal em aproximadamente 7rpm.

4.2 RESULTADO DAS SIMULAÇÕES

Nesta seção, serão discutidos os resultados analisados pelo carregamento estático dos componentes mecânicos do enrolador. Cada componente ilustrado na Fig. (5), exceto o tambor de madeira, foi modelado no programa computacional Autodesk Inventor 2015®. Em cada simulação foram avaliados os fatores de segurança que resguardavam o material contra o escoamento. Para isto as propriedades mecânicas do material foram descritas conforme a Tab. (2).

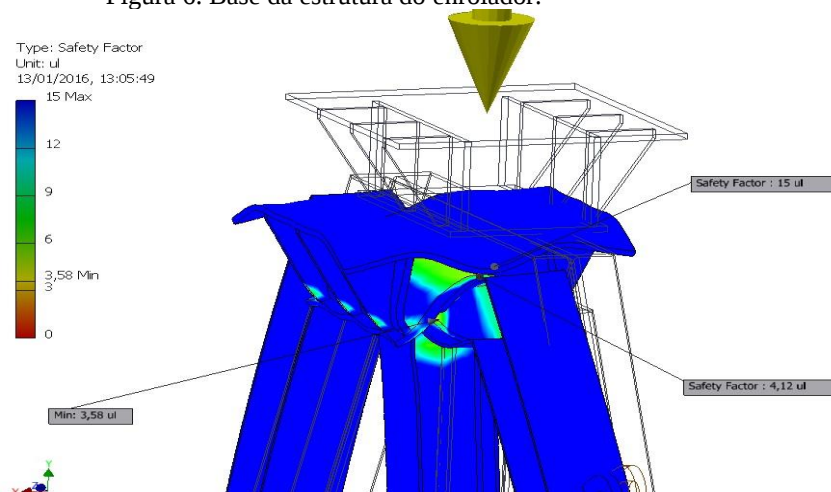
Tabela 2. Propriedades do material conforme a biblioteca do Inventor®.

Material	Aço ASTM A36
Densidade	7,85g/cm ³
Tensão de escoamento	248,225MPa
Tensão de ruptura	399,9MPa
Módulo de elasticidade	199,959GPa
Coefficiente de Poisson	0,3
Módulo de cisalhamento	76,90GPa

4.3 SIMULAÇÃO: ESTRUTURA DO ENROLADOR E BASE PARA O MANCAL

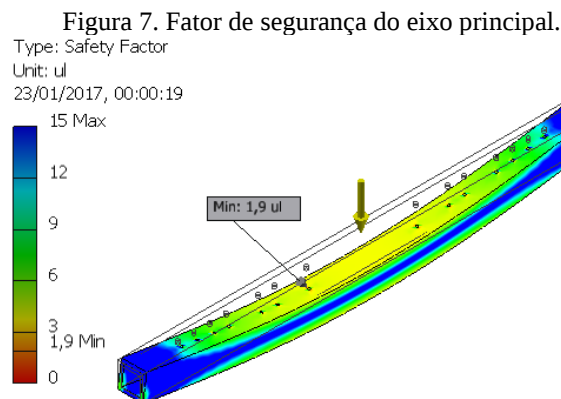
A Fig. (6) mostra os níveis de fator de segurança da base do mancal e na estrutura do enrolador. O valor do fator de segurança foi menor na aba com a alma do perfil da estrutura, atingindo um valor de 3,58. Quanto à parte inferior da base do mancal o fator de segurança atingiu um valor de 4,12.

Figura 6. Base da estrutura do enrolador.



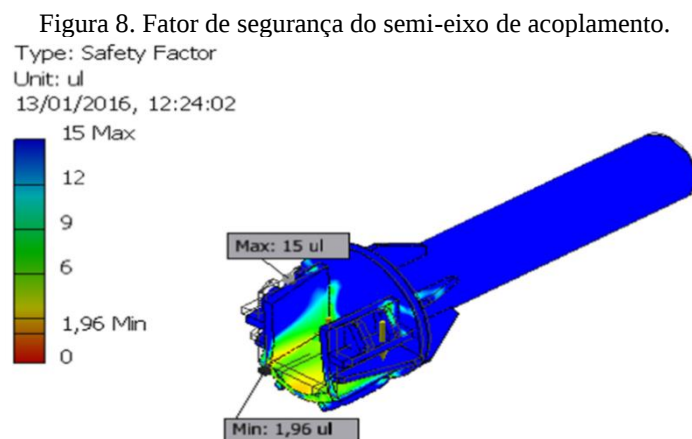
4.4 SIMULAÇÃO: EIXO PRINCIPAL

O eixo principal é o responsável por suportar toda a carga de 220kN distribuídos pelo eixo para uma correia de 2200mm de largura. Atribuindo um carregamento distribuído por toda a seção do eixo, conforme a largura de 2,2m, o valor do carregamento distribuído utilizado durante as simulações foi de 100kN/m. A Fig. (7) ilustra o fator de segurança do eixo com espessura de 20mm. A espessura do eixo foi analisada a fim de que o mesmo não sofra escoamento durante a operação, resultando um peso total de 246kg. Dessa forma o material se resguarda contra uma possível falha por escoamento com um valor de fator de segurança de 1,9.



4.5 SIMULAÇÃO: SEMI-EIXO DE ACOPLAMENTO

De acordo com a Fig. (8), o fator de segurança foi mínimo nas bordas laterais da base. O deslocamento máximo do semi-eixo do enrolador foi maior no centro da base. Para reduzir esse deslocamento, pode ser colocado uma nervura no centro da base de apoio.



4.6 SIMULAÇÃO: TRAVA DO EIXO

Para a simulação do trava-eixo foi levado em consideração o momento em que a peça está invertida, ou seja, a própria reação do peso da correia é dividida para os dois parafusos. Assim a simulação foi feita fixando a perna da trava como visto na Fig. (9a) e aplicando metade da reação nos parafusos como ilustrado na Fig. (9b).

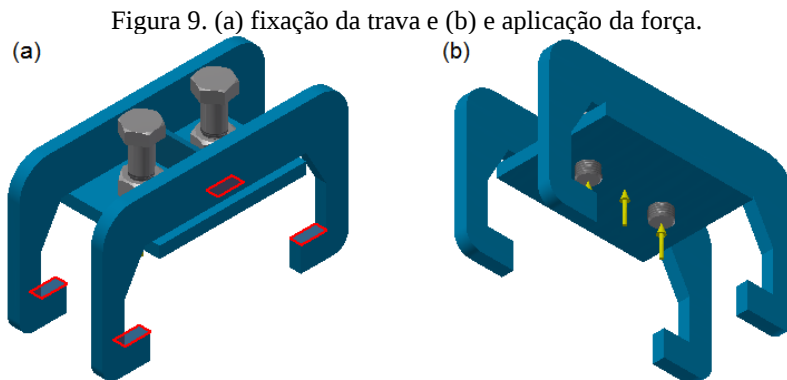
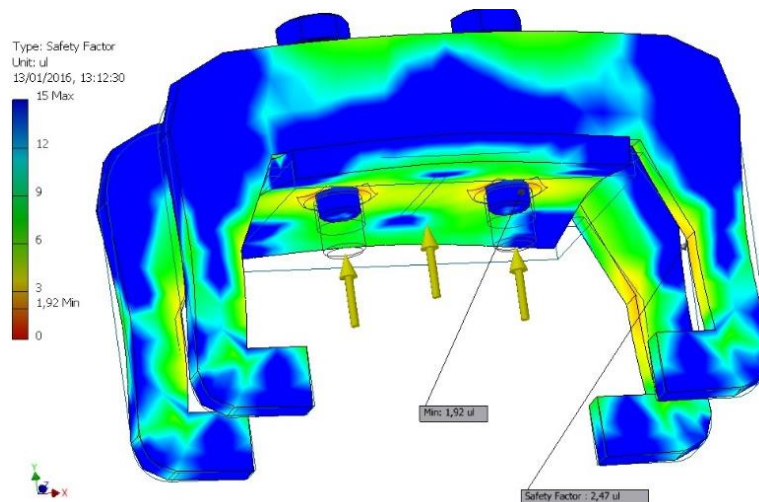


Figura 10. Fator de segurança da trava do eixo.

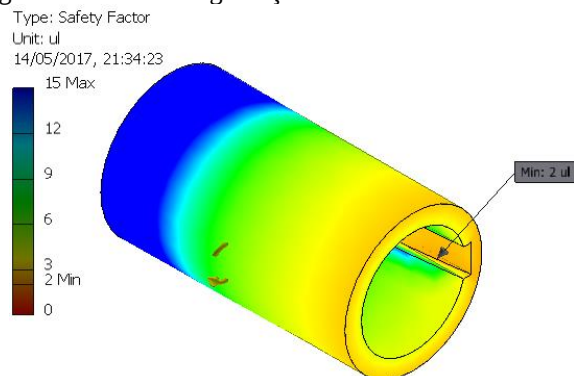


O fator de segurança é mínimo no furo de passagem do parafuso, com o valor de 1,92 ilustrado na Fig. (10). Nesse local há concentração de tensão por conta do furo na geometria. Outros pontos foram mensurados para verificação do resultado. A perna do trava-eixo possui uma região chanfrada o que possibilita o surgimento de concentração de tensão, mas facilita o corte durante a fabricação, mesmo assim o deslocamento não foi o maior e nem o fator de segurança menor.

4.7 SIMULAÇÃO: EXTENSÃO PARA O EIXO DO REDUTOR

Durante a seleção do redutor, o eixo de saída do redutor é menor que a largura de face das três rodas dentadas da corrente de rolos. Portanto foi necessário projetar uma extensão para o eixo do redutor para que transpassasse a roda dentada, aumentando o comprimento do eixo do redutor. A fabricação consiste em um cilindro de aço ASTM A36 vazado dos dois lados para a passagem do eixo do redutor e da chaveta. A Fig. (11) mostra o valor mínimo do fator de segurança, bem próximo à chaveta na parte superior da extensão. O fator de segurança encontrado foi de 2, valor bem elevado para garantir o funcionamento da peça durante o funcionamento do eixo do redutor.

Figura 11. Fator de segurança da extensão do eixo do redutor.



Como conclusão e resumo de todos os resultados obtidos nas simulações, a Tab. (3) sintetiza todos os valores de fator de segurança, e adiciona tensão equivalente e deslocamento máximo.

Tabela 3. Resumo das simulações.

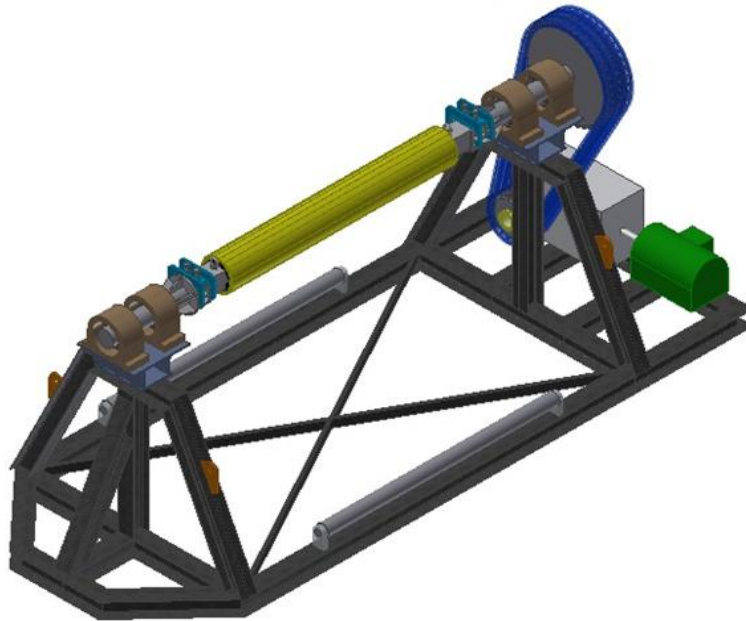
Componente	Tensão equivalente	Deslocamento máximo	Fator de segurança
Estrutura do enrolador e base para o mancal	69,3MPa	0,38mm	3,58
Eixo principal	158,3MPa	2,20mm	1,57
Semi-eixo de acoplamento	126,5MPa	0,24mm	1,96
Trava do eixo	228,4 MPa	0,16mm	1,92
Extensão para o eixo do redutor	123,9MPa	0,12mm	2,00

4.8 ENROLADOR DE CORREIAS TRANSPORTADORAS

A Fig. (12) ilustra a montagem final do enrolador de correias transportadora desenvolvido. O enrolador apresenta 5,4m de largura por 2,2 de comprimento, 1,70m de

altura e pesa 4,15t. Como visto, o enrolador está dentro do limite das dimensões para acomodar-se dentro do caminhão de transporte.

Figura 12. Enrolador de correias transportadora.



5 CONCLUSÕES

O valor final da rotação de funcionamento da correia foi de 7rpm. A princípio, foi determinada a velocidade de 6rpm, mas com a seleção do redutor não foi possível garantir a perfeita escolha da rotação inicial de 6rpm. A análise foi considerada em regime estático por conta da baixa rotação utilizada como parâmetro final da máquina.

Para evitar o tombamento e o escorregamento da estrutura, foram desenvolvidos roletes e guias localizados na parte frontal e traseira da base do enrolador.

A primeira simulação do eixo principal levou em consideração um eixo maciço, como o fator de segurança estava bastante elevado e o peso do eixo também, o componente pôde ser otimizado. Dessa forma, o peso do eixo vazado teve uma redução de 56% em relação ao eixo maciço e o fator de segurança garantiu que o material não escoasse durante a operação.

A peça projetada para o travamento do eixo ao acoplamento, a trava do eixo, gerou certa preocupação, principalmente na perna do trava-eixo, onde havia concentração de tensão no local por ser uma região chanfrada e não filetada.

O trabalho tinha por objetivo dimensionar os componentes de um enrolador de correias transportadoras e por meio de análises estruturais no Autodesk Inventor®, foi possível desenvolver as análises estáticas para cada componente presente na máquina.

REFERÊNCIAS

ABCEM, 2013. “Tecnologia ajuda a Vale a reciclar correias transportadoras de minério”. Disponível em: <<http://abcem.org.br/noticias-ver.php?cod=3193>> Acesso em 02 dez. 2015.

BRANCO, C.; FUJIYAMA, R. **Determinação da potência de acionamento de um sistema enrolador de correias transportadoras**. IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Fortaleza - Ceará. 2016

FALK. 2012. “Falk V-Class Catalog”. p. 146-147, 214. Disponível em: <<http://www.rexnord.com/Products-Services/Process-Motion-Control/Gear/Parallel-Angle-Gear-Drives/V-Class>> Acesso em 29 jul. 2015.

JOSHI, M. 2010, “Application of belt winder for conveyor replacements in coal handling plants of thermal power stations”. Disponível em: <http://www.plant-maintenance.com/articles/belt_winder.pdf> Acesso em 21 jul. 2015.

SEW. 2013. “Seleção de acionamento: métodos de cálculo e exemplos”. Vol. 1. 9ª ed. Disponível em: <http://br.sew-eurodrive.com/support/documentation_result.php?gruppen_id=A43> Acesso em 23 ago. 2015.

VEYANCE. 2013. “Manual de Componentes e Operação Enrolador de Correias 84”: Eixo Tipo Acoplamento Rápido”. Ouro Preto. MG.

WEG. 2015. WEG 22 Motor elétrico trifásico. Rev. 24, Jaraguá do Sul, SC.

MERCÚRIO. 2013. “Manual Técnico de correias transportadoras”. Itu. São Paulo.