



SAMUEL ANGELO SAUERESSIG

MELHORIA DE PROJETO: ESTUDO DE CASO ERPS

Novo Hamburgo

2012

SAMUEL ANGELO SAUERESSIG

MELHORIA DE PROJETO: ESTUDO DE CASO ERPS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Industrial, Habilitação em
Engenharia Industrial Mecânica, pela
Universidade Feevale.

Prof. Orientador : Me. Fabiano André Trein

Novo Hamburgo

2012

SAMUEL ANGELO SAUERESSIG

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Industrial Mecânica, com título “Melhoria de projeto: Estudo de caso ERPS”, submetido ao corpo docente da Universidade Feevale, como requisito necessário para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Industrial – Habilitação em Engenharia Industrial Mecânica.

Aprovado por:

Professor: Me. Fabiano André Trein
Professor Orientador

Engenheiro Pier Alfredo Scheffel

Professor Ramon Fernando Hans

Professor Sidnei Lopes Dias

Novo Hamburgo, Dezembro de 2012.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais que sempre me deram muito amor e carinho, além da educação necessária para que eu me tornasse uma pessoa melhor.

A minha esposa Viviane, que eu amo muito e que é um presente que Deus colocou na minha vida, assim como minha sogra e meu sogro.

Aos meus colegas e amigos, pessoal do +1, da Feevale e da ERPS, em especial para o Pier, que sempre esteve disposto a me ensinar e aconselhar.

A Indústria de Máquinas ERPS, principalmente pelo apoio financeiro, sem o qual a conclusão deste curso não seria possível.

Ao professor Fabiano, pela paciência e orientação prestada neste trabalho.

A todos os professores da Feevale, em especial ao professor Boccasius, pelas orientações técnicas deste trabalho.

Em resumo, quero agradecer a Deus por tudo de bom que Ele sempre me deu e por ter colocado todas estas pessoas tão especiais na minha vida.

RESUMO

Diante da concorrência cada vez mais acirrada, a revisão de projetos e o redimensionamento utilizando tecnologias mais modernas, são fundamentais para manter a competitividade das empresas. Este trabalho apresenta uma alternativa de redução de custo da máquina para entretelar modelo WSK 404 produzida pela Indústria de Máquinas ERPS. A partir da realização de uma revisão bibliográfica e da análise do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora desta máquina, foi dimensionado e fabricado um protótipo de um novo sistema de transmissão de movimento desta esteira. O objetivo deste trabalho é dimensionar, produzir e aprovar tecnicamente um sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 com custo inferior ao custo do sistema atual, mantendo-se todas as características técnicas desta máquina. Em comparação com o sistema de transmissão atual, obteve-se uma redução de custo de 18 %.

Palavras-chave: Vantagem competitiva. Redução de custo. Dimensionamento. Máquina para entretelar.

ABSTRACT

Given the increasingly fierce competition, the review of projects and dimensioning using latest technology are critical to maintaining the competitiveness of companies. This work presents an alternative for cost reduction of the interlining machine WSK 404, produced by ERPS machinery industry. After conducting a literature review and analysis of current transmission system of movement of the conveyor belt of this machine, was dimensioned and constructed a prototype of a new transmission system of movement of this conveyor belt. The objective of this work, is project, produce and technically approve a transmission system of movement of the conveyor belt of the interlining machine WSK 404 with lower cost than the cost of current system, remaining all the technical characteristics of this machine. Compared with the current transmission system, there was obtained a cost reduction of 18 %.

Keywords: Competitive advantage. Cost reduction. Dimensioning. Interlining machine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Entretela, cabedal e peça entretelada.....	16
Figura 2 – Máquina para entretelar tipo “prensa” modelo WSK 458	16
Figura 3 – Máquina para entretelar tipo “contínua” modelo WSK 404.....	17
Figura 4 – Representação do processo de entretelar da máquina modelo WSK 404	18
Figura 5 – Posicionamento dos materiais a serem entretelados sobre a esteira transportadora.....	19
Figura 6 – Bandeja de recolhimento das peças entreteladas.....	19
Figura 7 – Representação da relação de transmissão de movimento rotativo	23
Figura 8 – Motor elétrico da marca Weg	29
Figura 9 – Curva do fator de redução do torque para um motor autoventilado	36
Figura 10 – Inversor de frequência marca Weg	39
Figura 11 – Sequência metodológica definida para a elaboração do estudo de caso	56
Figura 12 – Sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora.....	59
Figura 13 – Dinamômetro de mola	63
Figura 14 – Representação do teste realizado para verificar o torque necessário....	64
Figura 15 – Representação do torque no eixo do rolo de tração.....	64
Figura 16 – Representação do sistema mecânico de redução de velocidade em um estágio.....	70
Figura 17 – Representação do sistema mecânico de redução de velocidade em dois estágios.....	71
Figura 18 – Representação do atual sistema de transmissão de movimento	80
Figura 19 – Representação do novo sistema de transmissão de movimento	82
Figura 20 - Protótipo do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Grandezas e unidades para o cálculo do torque	22
Quadro 2 – Grandezas e unidades para o cálculo da relação de transmissão	23
Quadro 3 – Características dos tipos de transmissão de movimento rotativo	24
Quadro 4 – Grandezas e unidades para o cálculo da rotação síncrona de um motor elétrico.....	31
Quadro 5 – Grandezas e unidades para o cálculo do escorregamento	33
Quadro 6 – Grandezas e unidades para o cálculo da rotação real do eixo	34
Quadro 7 – Grandezas e unidades para o cálculo do momento torçor	35
Quadro 8 – Grandezas e unidades para o cálculo da frequência normalizada	37
Quadro 9 – Grandezas e unidades para o cálculo do torque real do motor elétrico..	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rendimento aproximado dos sistemas de transmissão	28
Tabela 2 – Rotação síncrona para motores elétricos alimentados com	31
Tabela 3 – Custo das principais peças do atual sistema de transmissão de movimento.....	66
Tabela 4 – Engrenagens selecionadas para o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora.....	71
Tabela 5 – Custo das peças do atual sistema de transmissão de movimento	81
Tabela 6 – Custo das peças que compõem o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora.....	83

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1.1 PROCESSO DE ENTRETELAR	15
1.1.1 Máquina para entretelar tipo “contínua” modelo WSK 404	17
1.2 ACIONAMENTO PARA TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO ROTATIVO.....	20
1.2.1 Dimensionamento de um acionamento elétrico	21
1.2.2 Transmissão de movimento rotativo	23
1.2.2.1 <i>Transmissão de movimento através de engrenagens</i>	25
1.2.2.2 <i>Transmissão de movimento através de correntes</i>	25
1.2.2.3 <i>Transmissão de movimento através de correias</i>	27
1.2.2.4 <i>Rendimento nas transmissões de movimento rotativo</i>	27
1.2.3 Motores elétricos	28
1.2.3.1 <i>Motor elétrico alimentado com corrente contínua</i>	30
1.2.3.2 <i>Motor elétrico alimentado com corrente alternada</i>	30
1.2.3.3 <i>Motor elétrico síncrono</i>	30
1.2.3.4 <i>Motor elétrico assíncrono</i>	32
1.2.3.5 <i>Velocidade real de rotação do eixo de um motor elétrico de indução</i> ..	33
1.2.3.6 <i>Controle da velocidade de rotação do eixo de um motor elétrico de indução</i>	34
1.2.3.7 <i>Dimensionamento de um motor elétrico de indução</i>	34
1.2.3.8 <i>Momento torçor provocado por um motor elétrico</i>	35
1.2.3.9 <i>Fator de redução do torque em motores autoventilados</i>	35
1.2.4 Inversores de frequência	38
1.2.4.1 <i>Funcionamento de um inversor de frequência</i>	40
1.2.4.2 <i>Inversor de frequência escalar</i>	41
1.2.4.3 <i>Inversor de frequência vetorial</i>	42
1.2.4.4 <i>Dimensionamento de um inversor de frequência</i>	43
1.2.4.5 <i>Parametrização de um inversor de frequência</i>	44
1.3 PROJETO.....	45
1.3.1 Características de um projeto	46
1.3.2 Gerenciamento de projetos	48

1.3.3 Fases de um projeto	50
2 METODOLOGIA	52
2.1 TIPOS DE PESQUISA	53
2.2 COLETA DE DADOS	54
2.3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	55
2.4 SEQUÊNCIA METODOLÓGICA PARA O ESTUDO DE CASO.....	56
3 ESTUDO DE CASO	58
3.1 HISTÓRICO DA EMPRESA	58
3.2 DEFINIÇÃO DOS DADOS DO PROJETO	59
3.2.1 Verificação da faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora	61
3.2.2 Verificação do torque necessário para movimentar a esteira transportadora	63
3.3 PROPOSTA DO NOVO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA.....	65
3.4 DIMENSIONAMENTO DO NOVO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA.....	67
3.4.1 Dimensionamento em função da faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora	68
3.4.2 Dimensionamento em função do torque necessário para movimentar a esteira transportadora	74
3.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO NOVO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA	79
3.5.1 Custo do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora	79
3.5.2 Custo do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora	81
3.6 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO E APROVAÇÃO TÉCNICA	83
CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS	89
ANEXO A – Dados técnicos dos motores elétricos de indução com 4 pólos	91
ANEXO B – Tabela de engrenagens para corrente passo 9,525 mm	92

INTRODUÇÃO

O sucesso ou fracasso de qualquer organização depende da vantagem competitiva e obter e/ou manter esta condição tem sido historicamente um dos principais desafios enfrentados pelas empresas.

Existem dois tipos básicos de vantagem competitiva que uma empresa pode possuir: baixo custo ou diferenciação. O tipo de empresa ou mercado é fundamental para a escolha da estratégia correta, sendo que, cada uma delas possui vantagens e desvantagens.

A vantagem a partir do baixo custo ocorre quando uma empresa possui um produto com o menor custo em relação aos seus concorrentes. Esta condição é obtida geralmente quando uma empresa possui alta participação no mercado ou alguma outra vantagem, como por exemplo, acesso favorável à matéria prima ou alguma tecnologia inovadora. Esse tipo de estratégia costuma funcionar bem quando existe somente uma empresa líder em baixo custo no mercado, porém, se várias empresas estiverem disputando esta posição, a disputa acirrada pelo mercado pode acabar diminuindo a rentabilidade neste segmento (PORTER, 1998).

Quando uma empresa oferece um produto singular, com atributos diferentes dos oferecidos pelos seus concorrentes, ela está buscando uma vantagem competitiva através da estratégia por diferenciação. Os meios para a diferenciação são peculiares a cada indústria, podendo ser baseados em uma grande variedade de fatores, como por exemplo, no próprio produto ou no sistema de oferta ou entrega. Porém, mesmo que opte pela estratégia por diferenciação, a empresa não pode ignorar o custo do produto, logo, um diferenciador deve visar uma paridade ou proximidade de custos em relação a seus concorrentes, reduzindo o custo em todas as áreas que não afetam a diferenciação (PORTER, 1998).

Independente do tipo de estratégia utilizada pode-se observar que, um dos fatores mais relevantes é o baixo custo. Diante da concorrência acirrada dos dias atuais, qualquer diferença no custo, por menor que seja, pode representar uma vantagem significativa, aumentando a margem de negociação do preço de venda deste produto.

O setor de engenharia de uma empresa tem um papel fundamental nesta questão de custos, pois, além das questões técnicas, os profissionais que atuam

nesta área devem se preocupar com a viabilidade econômica do projeto. Como novas tecnologias e processos de produção surgem constantemente, esses profissionais devem se manter atualizados, a fim de que possam usufruir desses recursos da melhor maneira possível. Logo, ao se desenvolver um novo projeto, devem-se levar em consideração as tecnologias existentes, tanto em relação a materiais como processos de produção, desenvolvendo produtos de fácil e econômica fabricação, a fim de obter custos menores e por consequência, a possibilidade de algum diferencial competitivo.

A revisão do projeto de um produto também pode significar uma vantagem competitiva, pois, através da reengenharia com a utilização de novas tecnologias disponíveis ou ainda pela redução de eventuais gastos com superdimensionamentos, pode-se obter uma redução de custo considerável.

Este trabalho busca analisar a seguinte situação problema: existe alguma maneira de reduzir o custo da máquina para entretelar modelo WSK 404, produzida pela Indústria de Máquinas ERPS, mantendo-se todas as suas características técnicas?

Este problema foi definido a partir de uma necessidade de mercado da Indústria de Máquinas ERPS. Através de análises internas, a direção da empresa constatou que a máquina modelo WSK 404 está perdendo mercado devido à concorrência ter lançado uma máquina semelhante, com os mesmos recursos técnicos e com preço de venda praticamente 50% inferior. Diante desta percepção, analisou-se a máquina modelo WSK 404 e verificou-se que, através de um estudo de reengenharia, poderia ser obtida uma redução de custo considerável nesta máquina.

Dentre as possibilidades levantadas neste estudo de reengenharia, escolheu-se como hipótese para este trabalho, dimensionar um sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora com custo inferior ao custo do sistema atual.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é dimensionar, produzir e aprovar tecnicamente um sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 com custo inferior ao custo do sistema atual, mantendo-se todas as características técnicas desta máquina. Para atingir este objetivo foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Aprofundar os conhecimentos sobre os itens relacionados ao dimensionamento de um sistema de transmissão de movimento através de uma pesquisa bibliográfica sobre estes assuntos;
- ✓ Analisar o atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 afim de verificar possíveis alternativas de redução de custo;
- ✓ Dimensionar um novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora deste modelo de máquina para entretelar e analisar o seu custo;
- ✓ Produzir um protótipo e aprovar tecnicamente o novo sistema dimensionado.

Este trabalho será apresentado em forma de estudo de caso, visando o desenvolvimento de um novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora para a máquina para entretelar modelo WSK 404 e através deste trabalho será possível adquirir maiores conhecimentos sobre métodos de transmissão de movimento, dimensionamentos e análise de custos.

Inicialmente será apresentada uma revisão bibliográfica sobre os itens relacionados a sistemas de transmissão de movimento e logo após, a metodologia utilizada para a realização deste trabalho. No terceiro capítulo será apresentado o estudo de caso e o novo sistema de transmissão de movimento desenvolvido, além do protótipo fabricado.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresentará a revisão bibliográfica que servirá de base para a análise e dimensionamento do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404. Basicamente, os temas que serão abordados são o processo de entretelar, os diferentes métodos de transmissão de movimento rotativo e as características e formas de dimensionamento dos motores elétricos de indução e dos inversores de frequência, além do gerenciamento de projetos.

1.1 PROCESSO DE ENTRETELAR

Um dos processos industriais mais utilizados nas indústrias calçadista e têxtil é o processo de entretelar, também conhecido como dublagem. A finalidade deste processo é utilizar um tecido, chamado de entretela, como forro para dar rigidez a partes do calçado ou peças de vestuário. Entre outras aplicações, este processo é utilizado em cabedais, couraças, bonés e colarinhos de camisas. As entretelas podem ser aplicadas em praticamente todos os tipos de materiais, como por exemplo, em tecidos, couros ou materiais sintéticos.

O processo de entretelar consiste basicamente em unir ou fundir dois ou mais materiais através da ativação do adesivo termoplástico (cola) contido na entretela e da ação de uma pressão de aplicação. A entretela deve ser posicionada sobre a peça a ser entretelada e, através da ação da temperatura e da pressão, a aplicação será realizada. A temperatura, o tempo e a pressão de aplicação deste processo variam de acordo com os tipos de materiais a serem entretelados (ERPS, 2012). A Figura 1 apresenta uma entretela (peça “1”), um cabedal (peça “2”) e a peça resultante da aplicação da entretela sobre o cabedal (peça “3”).

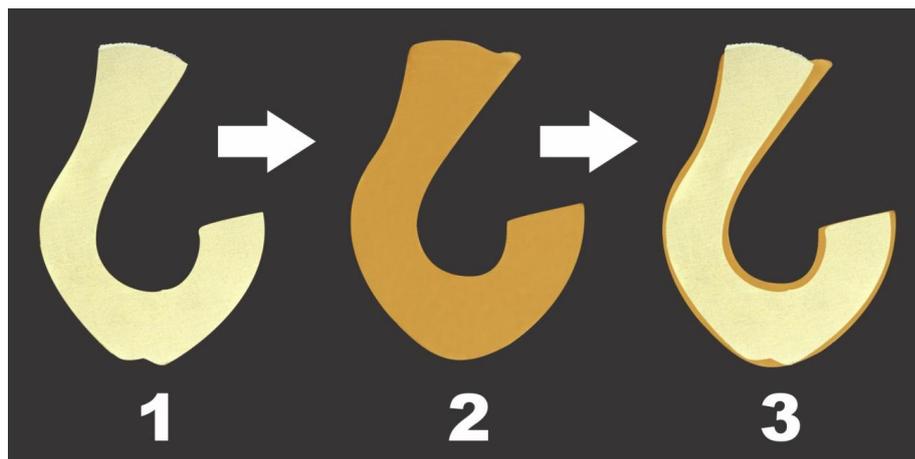


Figura 1 – Entretela, cabedal e peça entretelada

Fonte: Próprio autor, 2012

Existem várias máquinas e equipamentos capazes de realizar o processo de entretelar. Os tipos de máquina para entretelar mais utilizados nas indústrias são as máquinas do tipo “prensa” e as máquinas do tipo “contínua”. A diferença entre essas máquinas está na maneira como é realizado o processo de entretelar.

Nas máquinas do tipo “prensa”, os materiais são posicionados em uma base ou mesa de aplicação e um cabeçote aquecido pressiona um material contra o outro, ativando o adesivo termoplástico e unindo os materiais. A Figura 2 apresenta a máquina para entretelar do tipo “prensa” modelo WSK 458, produzida pela Indústria de Máquinas ERPS Ltda.



Figura 2 – Máquina para entretelar tipo “prensa” modelo WSK 458

Fonte: ERPS, 2012

Nas máquinas para entretelar do tipo “contínua”, o processo é realizado através do posicionamento dos materiais a serem entretelados sobre uma esteira de transporte que é pressionada contra uma fonte de aquecimento que ativa a cola e realiza o processo. Após o término do processo, a esteira transporta o material entretelado de volta para o operador. Este tipo de máquina realiza um volume de produção maior do que as máquinas do tipo “prensa”. A Figura 3 apresenta a máquina para entretelar do tipo “contínua” modelo WSK 404, produzida pela Indústria de Máquinas ERPS.



Figura 3 – Máquina para entretelar tipo “contínua” modelo WSK 404
Fonte: ERPS, 2012

1.1.1 Máquina para entretelar tipo “contínua” modelo WSK 404

A máquina para entretelar modelo WSK 404, apresentada na Figura 3, realiza a aplicação da entretela através do transporte dos materiais a serem entretelados pressionados contra um rolo de aço aquecido. A Figura 4 representa o processo de entretelar da máquina modelo WSK 404.

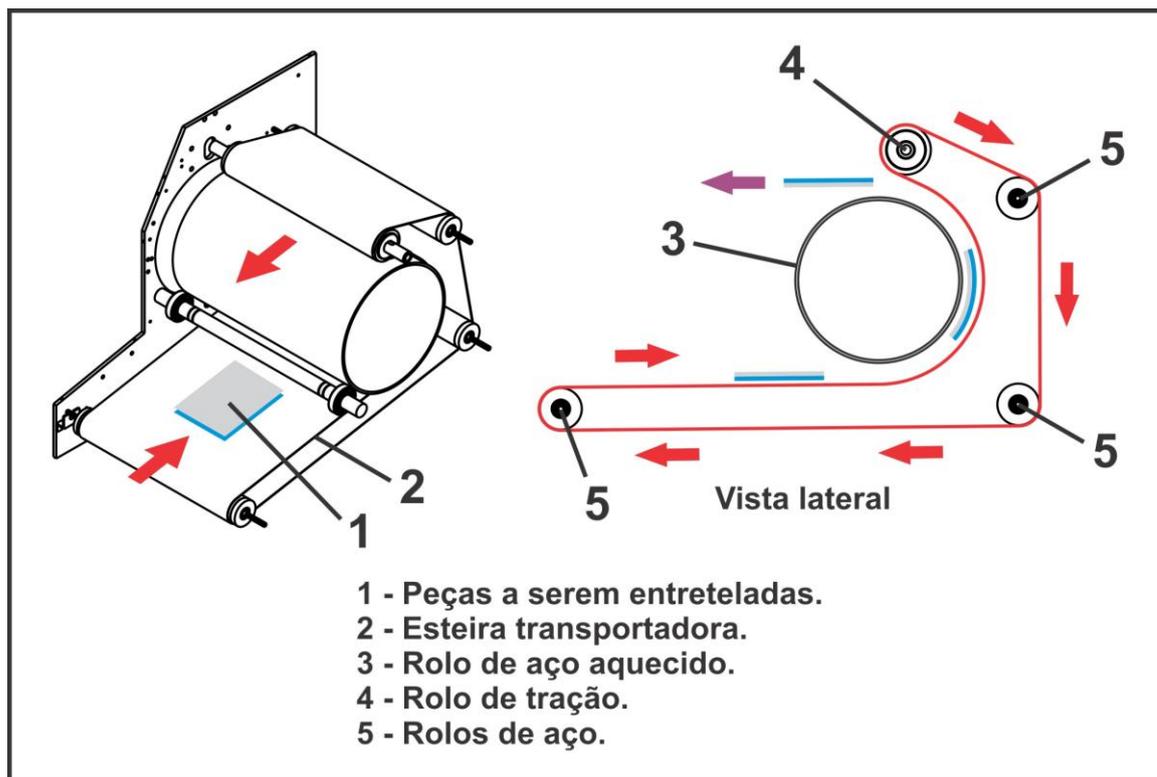


Figura 4 – Representação do processo de entretelar da máquina modelo WSK 404

Fonte: Próprio autor, 2012

O processo de entretelar nesta máquina consiste em posicionar os materiais a serem entretelados um sobre o outro e colocá-los sobre uma esteira (2) que os transporta para dentro da máquina. A esteira transportadora pressiona os materiais contra o rolo de aço aquecido (3) que ativa a cola e une os materiais. Esses materiais são transportados ao redor deste rolo de aço aquecido até a parte superior da máquina onde caem sobre uma bandeja. O rolo de tração (4) pressiona a esteira transportadora contra o rolo de aço aquecido e os rolos de aço (5) são responsáveis por guiar e manter a esteira transportadora tensionada.

A Figura 5 apresenta o posicionamento dos materiais sobre a esteira transportadora e a Figura 6 apresenta a bandeja de recolhimento das peças entreteladas na máquina modelo WSK 404.

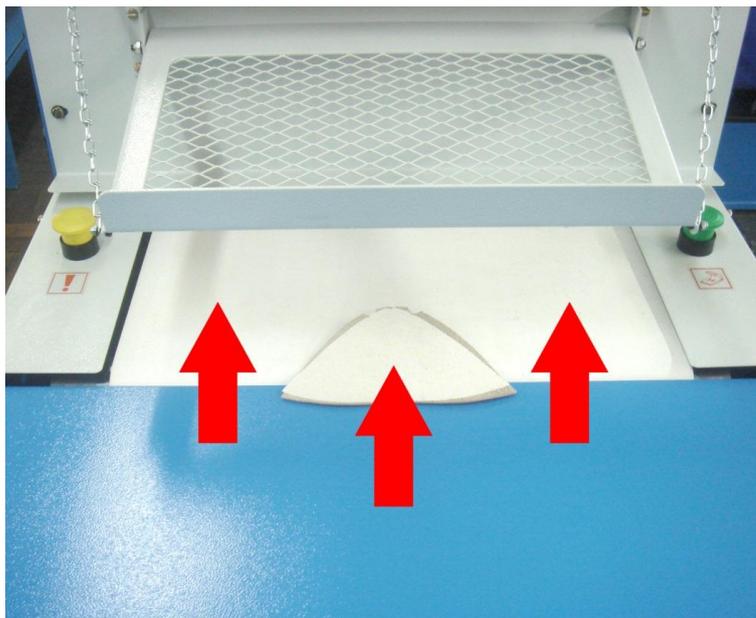


Figura 5 – Posicionamento dos materiais a serem entretelados sobre a esteira transportadora
Fonte: Próprio autor, 2012

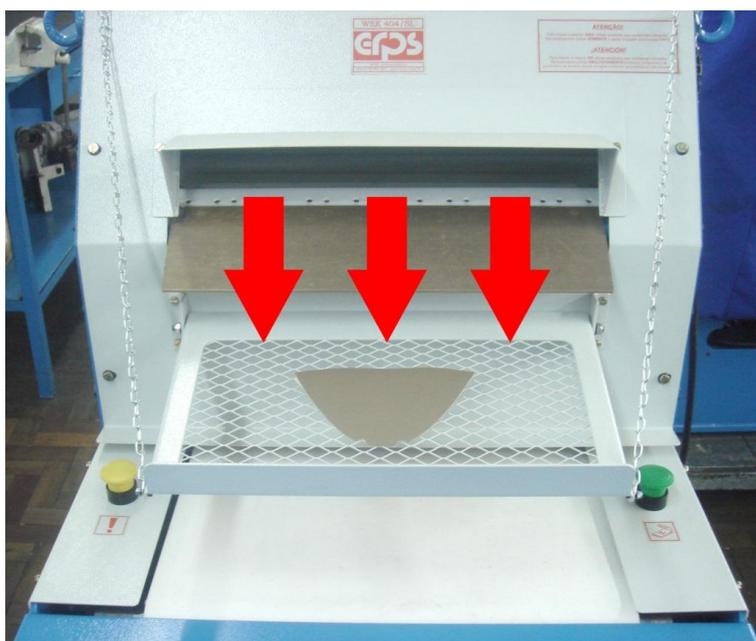


Figura 6 – Bandeja de recolhimento das peças entreteladas
Fonte: Próprio autor, 2012

Nesta máquina, o processo é controlado basicamente através da relação da temperatura do rolo de aço aquecido com a velocidade de rotação da esteira transportadora. O controle da pressão de aplicação da entretela é realizado através do ajuste da pressão que o rolo de tração exerce sobre a esteira transportadora. O controle da temperatura do rolo de aço aquecido é feito através de um aparelho controlador de temperatura, que permite a seleção da temperatura desejada. Para

prolongar a vida útil da esteira transportadora e dos componentes da máquina, a temperatura máxima de trabalho é limitada em 120°C (ERPS, 2012). O elevado nível de produção que esta máquina oferece é decorrente do movimento contínuo da esteira transportadora.

1.2 ACIONAMENTO PARA TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO ROTATIVO

Existem várias maneiras de se criar um movimento mecânico, porém, a seleção do método adequado depende do tipo de movimento que se quer obter. Com a grande variedade de sequências de movimentos, aparentemente todos os casos são distintos, entretanto, todas as situações podem ser resumidas em três movimentos básicos: movimento linear horizontal, movimento linear vertical e movimento rotativo. Todos os demais casos são derivados destes três tipos de movimento fundamentais.

Antigamente, o movimento mecânico era gerado por um acionamento principal e levado até cada ponto de utilização por diversos tipos de transmissões, sendo mais comum a utilização de um sistema com motor, eixo mestre e correias planas. Por motivos de segurança, custo, *lay out*, ruído e rendimento entre outros, atualmente este método não é mais utilizado, sendo adotada a solução de empregar acionamentos individuais para cada utilização (SEW, 2007).

Atualmente, os acionamentos para transmissão de movimento mais utilizados são produzidos por dispositivos pneumáticos, hidráulicos ou elétricos. Na maioria das aplicações, um acionamento elétrico é a solução mais econômica, pois reúne entre outras vantagens, baixo custo, dimensões reduzidas, fácil instalação e manutenção simples (SEW, 2007).

Um acionamento elétrico é um sistema capaz de converter energia elétrica em energia mecânica (movimento), mantendo tal processo de conversão sob controle (WEG, 2004). Estes acionamentos são normalmente utilizados para acionar máquinas ou equipamentos que requerem algum tipo de movimento controlado, como por exemplo, a velocidade de rotação de uma bomba. Conforme o fabricante de motores elétricos Weg (2004), um acionamento elétrico moderno é formado normalmente pela combinação dos seguintes elementos:

- ✓ Motor elétrico, cuja função é converter energia elétrica em energia mecânica;
- ✓ Dispositivo eletrônico, que é responsável por comandar e/ou controlar a potência elétrica entregue ao motor;
- ✓ Transmissão mecânica, que adapta a velocidade e a inércia entre o motor e a máquina (carga).

Para usufruir corretamente de todos os benefícios que este tipo de acionamento pode oferecer, é muito importante conhecer e entender o funcionamento destes elementos, a fim de prevenir erros de dimensionamento ou aplicações inadequadas. Além disto, é necessário um conhecimento básico de como o motor interage com o sistema de controle, e estes dois, por sua vez, com a máquina a ser acionada.

1.2.1 Dimensionamento de um acionamento elétrico

Uma das maiores fontes de problemas ao se tratar de acionamentos elétricos é a aplicação inadequada dos diversos tipos existentes. Acionamentos CA (de corrente alternada) e CC (de corrente contínua) têm características peculiares, que devem ser levadas em consideração ao se fazer a escolha do tipo de acionamento. Não só as características de torque são diferentes, mas também há consideráveis diferenças de custo (WEG, 2004).

O correto dimensionamento de um acionamento elétrico é feito com base no torque requerido pela carga, logo, é necessário conhecer muito bem a máquina a ser acionada. O fabricante de motores elétricos Weg (2004) define acionamento elétrico, carga e torque como:

- ✓ Acionamento elétrico: é o conjunto compreendido pelo motor e seu sistema de partida, além de qualquer aparelho eletrônico de controle envolvido, como por exemplo, um inversor de frequência.

✓ Carga: é o conjunto de componentes da máquina que se movem, ou que estão em contato e exercem influência sobre eles, começando a partir da ponta do eixo do motor.

✓ Torque: pode ser definido como a força necessária para girar um eixo. Ele é dado pelo produto da força tangencial pela distância do ponto de aplicação da força ao centro do eixo. Pode-se determinar o torque demandado para por em movimento uma máquina, medindo a força necessária para provocar o movimento, utilizando uma chave de grifo e um dinamômetro de mola, por exemplo. O Quadro 1 apresenta as grandezas e unidades para o cálculo do torque, que pode ser calculado através da seguinte equação:

$$T = F \times r$$

Grandeza	Abreviação	Unidade
Torque	<i>T</i>	kgf.cm
Força tangencial	<i>F</i>	kgf
Raio	<i>r</i>	cm

Quadro 1 – Grandezas e unidades para o cálculo do torque

Fonte: Próprio autor, 2012

A escolha do melhor sistema de acionamento para uma máquina é feita em função das características deste equipamento, ou seja, deve-se iniciar o dimensionamento pela análise das cargas e não pela escolha do motor ou do inversor de frequência (WEG, 2004). Inicialmente devem-se verificar todos os dados referentes à carga que será acionada, como por exemplo, a massa a ser movimentada, sua velocidade e as forças que atuam sobre ela. Com estes dados calcula-se o torque necessário para realizar o movimento e a rotação, levando-se em consideração os rendimentos. O motor elétrico e o inversor de frequência adequado para cada aplicação são selecionados a partir dos dados calculados (SEW, 2007).

1.2.2 Transmissão de movimento rotativo

O sistema de transmissão de movimento rotativo consiste em transmitir um movimento de rotação de um eixo motor para um eixo movido. A Figura 7 apresenta uma relação de transmissão de movimento rotativo do eixo motor “1” para o eixo movido “2”.

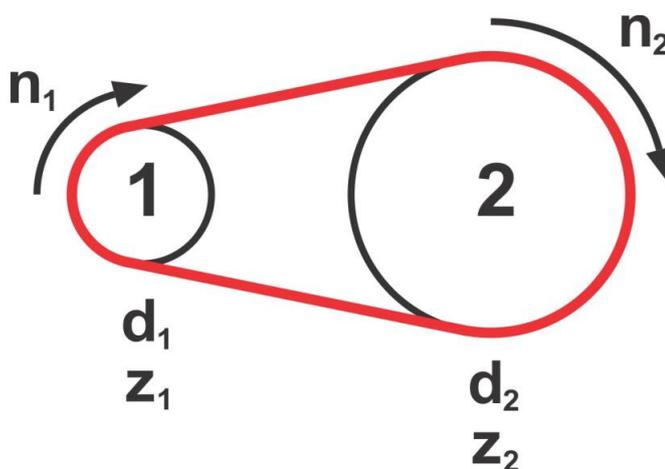


Figura 7 – Representação da relação de transmissão de movimento rotativo do eixo motor “1” para o eixo movido “2”

Fonte: ANTUNES; FREIRE, 1997

O Quadro 2 apresenta as grandezas e unidades para o cálculo da relação de transmissão, que é expressa por “*i*” e pode ser calculada conforme a equação abaixo. Esta equação para o cálculo da relação de transmissão pode ser utilizada para qualquer tipo de transmissão de movimento rotativo, como por exemplo, por polias ou engrenagens.

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

Grandeza	Abreviação	Unidade
Relação de transmissão	<i>i</i>	adimensional
Diâmetro externo	<i>d</i>	cm
Rotação	<i>n</i>	rpm
Número de dentes	<i>z</i>	adimensional

Quadro 2 – Grandezas e unidades para o cálculo da relação de transmissão

Fonte: Próprio autor, 2012

Existem três tipos de transmissões de movimento rotativo: transmissão de rotação igual, transmissão redutora e a transmissão ampliadora (ANTUNES; FREIRE, 1997). Seguem abaixo as definições de Antunes e Freire (1997) para cada um destes tipos de transmissão de movimento rotativo:

✓ Transmissão de rotação igual: Consiste em transmitir a mesma velocidade de rotação do eixo motor para o eixo movido. Essa transmissão de movimento é feita através de polias ou engrenagens de tamanhos iguais.

✓ Transmissão redutora da velocidade de rotação: É aquela onde a velocidade de rotação no eixo movido é menor do que a velocidade de rotação do eixo motor. Essa redução de velocidade ocorre quando o movimento é transmitido de uma engrenagem ou polia menor para uma engrenagem ou polia maior.

✓ Transmissão ampliadora da velocidade de rotação: Ocorre quando existe uma ampliação da velocidade de rotação do eixo motor para o eixo movido. A ampliação da velocidade de rotação é obtida transmitindo o movimento de rotação de uma engrenagem ou polia maior para uma engrenagem ou polia menor.

O Quadro 3 apresenta as características de cada um dos tipos de transmissão de movimento rotativo.

Grandeza	Transmissão de rotação igual	Transmissão redutora	Transmissão ampliadora
Relação de transmissão	$i = 1$	$i > 1$	$i < 1$
Diâmetro externo	$d_1 = d_2$	$d_1 < d_2$	$d_1 > d_2$
Rotação	$n_1 = n_2$	$n_1 > n_2$	$n_1 < n_2$
Número de dentes	$z_1 = z_2$	$z_1 < z_2$	$z_1 > z_2$

Quadro 3 – Características dos tipos de transmissão de movimento rotativo

Fonte: Próprio autor, 2012

Existem diversas formas de realizar uma transmissão de movimento rotativo cujas mais utilizadas são a transmissão por engrenagens, por correntes ou por correias (ANTUNES; FREIRE, 1997).

1.2.2.1 Transmissão de movimento através de engrenagens

A transmissão de movimento por engrenagens é utilizada quando as distâncias entre os eixos motor e movido forem pequenas e a relação de transmissão “ i ” for menor que “8”. Este tipo de transmissão é utilizado para transmitir movimento entre eixos paralelos, cruzados ou reversos através de um acoplamento perfeito entre os dentes, onde um dente da engrenagem penetra no vão da outra, produzindo um movimento uniforme sem escorregamento (ANTUNES; FREIRE, 1997). As principais características deste tipo de transmissão são:

- ✓ Transmissão de movimento e força sem escorregamento;
- ✓ Alta resistência a sobrecargas;
- ✓ Dimensões reduzidas;
- ✓ Alto rendimento;
- ✓ Nível de manutenção baixo.

As principais desvantagens apresentadas por este tipo de transmissão são a limitação da relação de transmissão e o elevado custo em relação às outras formas de transmissão.

Diversos tipos de engrenagens podem ser utilizados para realizar a transmissão de movimento, como por exemplo, engrenagens cilíndricas de dentes retos ou helicoidais, engrenagens cônicas ou ainda transmissões por coroa e sem-fim.

1.2.2.2 Transmissão de movimento através de correntes

A transmissão de potência através de correntes consiste em uma união flexível, entre a corrente e um par de engrenagens, que a acionam positivamente (ANTUNES; FREIRE, 1997). A potência é transmitida através do engrenamento dos dentes da engrenagem com os elos da corrente.

Essa transmissão é utilizada quando a distância entre os eixos é pequena demais para empregar uma correia e grande demais para utilizar rodas dentadas. São exemplos de aplicação de transmissão de potência através de correntes os acionamentos de bicicletas e motocicletas, além de diversos tipos de máquinas.

Segundo Antunes e Freire (1997), esse tipo de transmissão se caracteriza por:

- ✓ Distância entre eixos variável (normalmente entre a distância mínima por aproximação das engrenagens até a distância máxima em torno de 80 vezes o passo da corrente);
- ✓ Transmissão de potência sem apresentar perdas por escorregamento;
- ✓ Possibilidade de transmitir movimento a vários eixos simultaneamente;
- ✓ Resistência a grandes esforços;
- ✓ Alto rendimento;
- ✓ Longa vida útil;
- ✓ Custo intermediário entre as correias e as engrenagens.

As desvantagens apresentadas pela transmissão por corrente são a limitação da relação de transmissão, que de preferência não deve ser superior a “6”, a rigidez transversal (podem ser acionados somente eixos paralelos), a necessidade de lubrificação da corrente, o alto nível de ruído causado pelo engrenamento e a necessidade de utilização de um sistema de esticador para manter a corrente tensionada (ANTUNES; FREIRE, 1997).

Existem diversos tipos de correntes, como por exemplo, as correntes de rolos, de buchas, de dentes e com elos fundidos. A escolha do tipo de corrente ideal depende de cada aplicação.

A fim de garantir um melhor funcionamento do sistema de transmissão, o número de dentes das engrenagens não deve ser inferior a 9 dentes nem superior a 120 dentes (ANTUNES; FREIRE, 1997). Além disso, para um funcionamento correto, as engrenagens devem estar no mesmo plano e os seus eixos rigorosamente paralelos entre si.

1.2.2.3 Transmissão de movimento através de correias

A correia é um elemento de ligação entre uma polia motora e uma polia movida. Sua principal característica é a flexibilidade e ela pode ser produzida em vários materiais, como couro, tecido de lona, sisal ou borracha com fibra de algodão e seda. Sua principal função é transmitir potência e movimento, além de suportar choques e sobrecargas sem falhar ou se deformar (ANTUNES; FREIRE, 1997).

A transmissão por correias pode ser utilizada tanto para eixos paralelos como para eixos reversos onde haja grandes distâncias entre os eixos motor e movido. As principais características deste tipo de transmissão são:

- ✓ Sistema de construção simples;
- ✓ Funcionamento silencioso;
- ✓ Capacidade considerável de absorver choques elasticamente;
- ✓ Alto rendimento;
- ✓ Custo reduzido.

Neste tipo de transmissão, as principais desvantagens apresentadas são o escorregamento entre a correia e a polia e a necessidade de utilização de um sistema de esticador para manter a correia tensionada.

Os tipos de correia mais utilizados são as correias planas e as correias em “V”.

1.2.2.4 Rendimento nas transmissões de movimento rotativo

O rendimento indica um parâmetro que serve para analisar a viabilidade da construção em termos de realização de trabalho mecânico (ANTUNES; FREIRE, 1997). Desta forma, quanto maior for o rendimento de um sistema de transmissão, mais vantajoso será utilizar este sistema.

Em qualquer tipo de transmissão, é inevitável a perda de potência. Essa perda de potência ocorre nas engrenagens, mancais, polias, correntes ou rodas de

atrito, entre outros. A potência de entrada da transmissão é dissipada em parte sob a forma de energia, transformada em calor e ruído. Assim, o cálculo do rendimento é necessário para determinar a potência disponível na saída do equipamento. A potência e o torque deverão ser calculados em cada eixo do sistema para a análise correta da construção.

A Tabela 1 apresenta o rendimento aproximado dos principais sistemas de transmissão de movimento rotativo.

Tabela 1 – Rendimento aproximado dos principais sistemas de transmissão de movimento rotativo

Sistema de transmissão por	Rendimento (%)
Engrenagens	97 % - 98 %
Correntes	97 % - 98 %
Correias	96 % - 98 %

Fonte: ANTUNES; FREIRE, 1997.

Analisando os dados da Tabela 1, observa-se que os sistemas de transmissão de movimento rotativo apresentam elevados índices de rendimento. A transmissão de movimento rotativo por engrenagens ou correntes apresenta rendimento entre 97 % e 98 %, enquanto que a transmissão por correias apresenta rendimento entre 96 % e 98 %.

1.2.3 Motores elétricos

O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica, usualmente disponibilizada em um eixo de rotação (FILIPPO FILHO, 2000). Os motores elétricos são utilizados no acionamento de diversos tipos de máquinas e equipamentos e a sua aplicação, conforme Filippo Filho (2000), pode ser classificada nos seguintes grupos:

- ✓ Transporte de fluidos incompressíveis: bombas da água e bombas de óleo, entre outros.
- ✓ Transporte de fluidos compressíveis: como por exemplo, em ventiladores, compressores e exaustores.

- ✓ Processamento de materiais metálicos: furadeiras, prensas, tornos e outras máquinas operatrizes.
- ✓ Processamento de materiais não metálicos: serras para madeira, misturadores químicos, injetoras de plástico além de diversos aparelhos eletrodomésticos.
- ✓ Manipulação de cargas: elevadores, guindastes e correias transportadoras, entre outros.
- ✓ Transporte de cargas e passageiros, como por exemplo, em metrô, trens e carros elétricos.

Percebe-se que o motor elétrico é uma máquina largamente utilizada na indústria, no meio rural, no comércio, nos serviços e nas residências. Eles podem ser fabricados para transmitirem desde pequenas potências, na razão de alguns watts até potências gigantescas de milhares de quilowatts (FILIPPO FILHO, 2000). A Figura 8 apresenta um motor elétrico da marca Weg.



Figura 8 – Motor elétrico da marca Weg
Fonte: WEG, 2012

Conforme Filippo Filho (2000), as principais vantagens proporcionadas por este tipo de motor são:

- ✓ Alto rendimento em aplicações para qualquer tipo de carga;
- ✓ Instalação e manutenção razoavelmente simples;
- ✓ Economia (é o tipo de motor mais econômico);
- ✓ Utiliza como fonte de alimentação a energia elétrica, uma energia limpa, de baixo custo e fornecimento instantâneo.

Existem diversos tipos de motores elétricos, os quais podem ser divididos em duas grandes famílias: os acionados por corrente contínua, chamados de motores CC, e os acionados por corrente alternada, os motores CA (FILIPPO FILHO, 2000).

1.2.3.1 Motor elétrico alimentado com corrente contínua

Como o próprio nome diz, este tipo de motor necessita de uma fonte de corrente contínua, ou de algum dispositivo que converta a corrente alternada da rede comum em corrente contínua. Esses motores permitem um amplo limite de ajuste de velocidade, além de controles de grande flexibilidade e precisão. Por serem motores de custos elevados, são utilizados somente em casos especiais, onde suas vantagens técnicas compensem o custo mais alto da alimentação de corrente contínua (SIMONE; CREPPE, 2010).

1.2.3.2 Motor elétrico alimentado com corrente alternada

Os motores alimentados com corrente alternada são os mais utilizados por serem alimentados através da corrente alternada comum da rede elétrica. Geralmente os tipos de motores de corrente alternada mais utilizados são os monofásicos e os trifásicos. Além disso, os motores de corrente alternada podem ser divididos ainda em motores síncronos e motores assíncronos (FILIPPO FILHO, 2000).

1.2.3.3 Motor elétrico síncrono

O motor elétrico síncrono se caracteriza por desenvolver torque em somente uma velocidade, a velocidade síncrona (TORO, 1999). Esses motores não possuem conjugado de partida e por isso devem ser levados por algum meio externo ou

interno à velocidade de sincronismo ou muito próximo dela (SIMONE; CREPPE, 2010). Em motores elétricos síncronos com altas potências, a velocidade de sincronismo pode ser alcançada por meio de motores hidráulicos, turbinas a gás ou por um motor elétrico de indução, entre outros.

A velocidade síncrona é determinada pela frequência de alimentação e pelo número de pólos para o qual o motor foi projetado (TORO, 1999). O Quadro 4 apresenta as grandezas e unidades para o cálculo da velocidade síncrona de um motor elétrico, que pode ser calculada através da seguinte equação:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

Grandeza	Abreviação	Unidade
Rotação síncrona	n_s	rpm
Frequência de operação	f	Hz
Número de pólos	p	adimensional

Quadro 4 – Grandezas e unidades para o cálculo da rotação síncrona de um motor elétrico
Fonte: Próprio autor, 2012

A Tabela 2 apresenta a rotação síncrona “ n_s ” para motores elétricos alimentados com frequência de 50 Hz e 60 Hz.

Tabela 2 – Rotação síncrona para motores elétricos alimentados com frequência de 50 Hz e 60 Hz

Número de pólos	n_s para 50 Hz (rpm)	n_s para 60 Hz (rpm)
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
12	500	600
16	375	450
24	250	300

Fonte: SEW, 2007.

Os motores elétricos síncronos são raramente utilizados para potências abaixo de 50 HP, devido ao seu custo inicial mais elevado quando comparado com motores de indução (TORO, 1999). Contudo, os motores síncronos oferecem algumas vantagens importantes, como:

- ✓ Velocidade constante;
- ✓ Controle do fator de potência;
- ✓ Elevada eficiência de operação.

Este tipo de motor é utilizado geralmente em aplicações que necessitem de baixas velocidades de operação e elevado torque, como por exemplo, eixos de transmissão de moinhos, misturadores de borracha, trituradores e grandes bombas (TORO, 1999).

1.2.3.4 Motor elétrico assíncrono

Os motores elétricos assíncronos se caracterizam pela capacidade de produzir torque em qualquer velocidade abaixo da velocidade síncrona (característica que dá origem ao nome assíncrono). Esse tipo de motor é chamado usualmente de motor de indução devido ao seu princípio de funcionamento que é baseado na indução eletromagnética (FILIPPO FILHO, 2000).

Os motores elétricos de indução possuem um funcionamento muito simples, apesar de fornecerem uma alta eficiência. Eles praticamente imitam a frequência da rede onde estão ligados. A frequência da rede de corrente alternada é a quantidade de vezes que ela alterna por segundo, expressa através da unidade Hertz (Hz), logo, uma rede elétrica de 60 Hz alterna 60 vezes em um segundo. Essa tensão oscilante passa pelos pólos (bobinas) do motor e forma um campo magnético giratório que fará com que o eixo do motor gire. Quanto mais alta for a frequência, mais rápido será esse campo magnético giratório e mais rápido o motor tenderá a girar.

Os motores mais utilizados nos acionamentos elétricos são os motores de indução monofásicos e trifásicos. Estima-se que este tipo de motor corresponde a 95% do total de motores instalados nos setores industrial, rural, comercial e residencial. Sua enorme empregabilidade deve-se as suas características operacionais, que permitem o acionamento de praticamente todos os tipos de máquinas e equipamentos. Além disso, sua robustez garante uma vida útil bastante prolongada. Para qualquer potência, o motor de indução é o motor elétrico de menor custo e de maior facilidade de instalação e manutenção (FILIPPO FILHO, 2000).

1.2.3.5 Velocidade real de rotação do eixo de um motor elétrico de indução

Devido as suas características construtivas e ao seu funcionamento, a velocidade de rotação do eixo de um motor elétrico de indução nunca será igual à velocidade síncrona. Essa diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade real do eixo do motor é chamada de escorregamento (TORO, 1999). Este valor de escorregamento varia de acordo com a carga que o motor estiver acionando, quanto maior a carga, maior será a diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade real de rotação do eixo do motor. O Quadro 5 apresenta as grandezas e unidades para o cálculo do escorregamento de um motor elétrico de indução, que pode ser calculado pela equação:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Grandeza	Abreviação	Unidade
Escorregamento	s	%
Rotação síncrona	n_s	rpm
Rotação real	n	rpm

Quadro 5 – Grandezas e unidades para o cálculo do escorregamento de um motor elétrico de indução

Fonte: Próprio autor, 2012

Segundo o fabricante de motores elétricos Weg (2004), a partir do valor do escorregamento, pode-se calcular a velocidade real de rotação do eixo de um motor elétrico de indução através da equação:

$$n = \frac{120 \times f \times (1 - s)}{p}$$

O Quadro 6 apresenta as grandezas e unidades para o cálculo da rotação real do eixo de um motor elétrico de indução.

Grandeza	Abreviação	Unidade
Rotação real	n	rpm
Frequência de operação	f	Hz
Escorregamento	s	%
Número de pólos	p	adimensional

Quadro 6 – Grandezas e unidades para o cálculo da rotação real do eixo de um motor elétrico de indução

Fonte: Próprio autor, 2012

1.2.3.6 Controle da velocidade de rotação do eixo de um motor elétrico de indução

Os motores elétricos de indução trabalham com velocidade praticamente constante dentro de uma faixa de variação da carga mecânica aplicada no seu eixo. Essa característica de velocidade constante é considerada por muitos como uma das poucas desvantagens apresentadas por este tipo de motor (FILIPPO FILHO, 2000).

Porém, muitas aplicações, como por exemplo, transportadores de carga, guindastes e elevadores, exigem velocidades diferentes da velocidade síncrona do motor elétrico, ou ainda, a variação da velocidade durante o ciclo de funcionamento deste.

Existem várias formas para variar a velocidade de rotação do eixo de um motor elétrico de indução. Conforme o fabricante de motores elétricos Weg (2004), os sistemas mais utilizados são os sistemas mecânicos e o controle através de inversores de frequência.

1.2.3.7 Dimensionamento de um motor elétrico de indução

Um motor elétrico de indução geralmente é dimensionado a partir da carga mecânica que ele irá acionar (FILIPPO FILHO, 2000). Os principais aspectos a serem selecionados são a potência e a rotação do motor elétrico, que devem atender as necessidades de cada aplicação. Nestes casos, a potência requerida pela carga deve ser inferior ou igual à potência nominal do motor elétrico (SEW, 2007).

Para dimensionar corretamente um motor elétrico de indução, é necessário saber como se comportam as características de torque e de potência ao longo das rotações do motor quando este é acionado. Além disso, deve-se analisar também os tipos de torque resistentes e potências consumidas pelas cargas nas mais diversas aplicações.

1.2.3.8 Momento torçor provocado por um motor elétrico

O motor elétrico, através de sua potência, exerce sobre o seu eixo de rotação um momento torçor (ANTUNES; FREIRE, 1997). Ainda conforme Antunes e Freire (1997), o momento torçor provocado por um motor elétrico pode ser expresso através da equação abaixo:

$$M_t = \frac{71620 \times N}{n}$$

O Quadro 7 apresenta as grandezas e unidades para o cálculo do momento torçor provocado por um motor elétrico.

Grandeza	Abreviação	Unidade
Momento torçor	M_t	kgf.cm
Potência no eixo	N	CV
Rotação real	n	rpm

Quadro 7 – Grandezas e unidades para o cálculo do momento torçor provocado pelo motor elétrico

Fonte: Próprio autor, 2012

1.2.3.9 Fator de redução do torque em motores autoventilados

Os chamados motores autoventilados utilizam a rotação do próprio eixo para refrigerar o motor. Um ventilador ou ventoinha é fixado neste eixo e a sua rotação fornece o ar para o resfriamento do motor, dispensando-se assim o uso de resfriamento externo.

Porém, a redução da ventilação nas baixas velocidades de rotação faz com que seja necessária uma diminuição no torque demandado do motor ou o superdimensionamento do mesmo, de modo a manter a sua temperatura dentro dos limites da sua classe térmica (WEG, 2004).

Para baixas rotações, abaixo de 50% da rotação nominal do motor, uma possível solução para esse problema é a especificação de um motor com carcaça maior para que se tenha uma maior área para troca térmica, ou então, a simples especificação de um motor com maior potência (FILIPPO FILHO, 2000).

O fator de redução do torque (“*derating factor*”), representado por T/T_n (torque real “ T ” / torque nominal “ T_n ”) para motores autoventilados varia de acordo com a variação de f/f_n e pode ser representado pela curva apresentada na Figura 9.

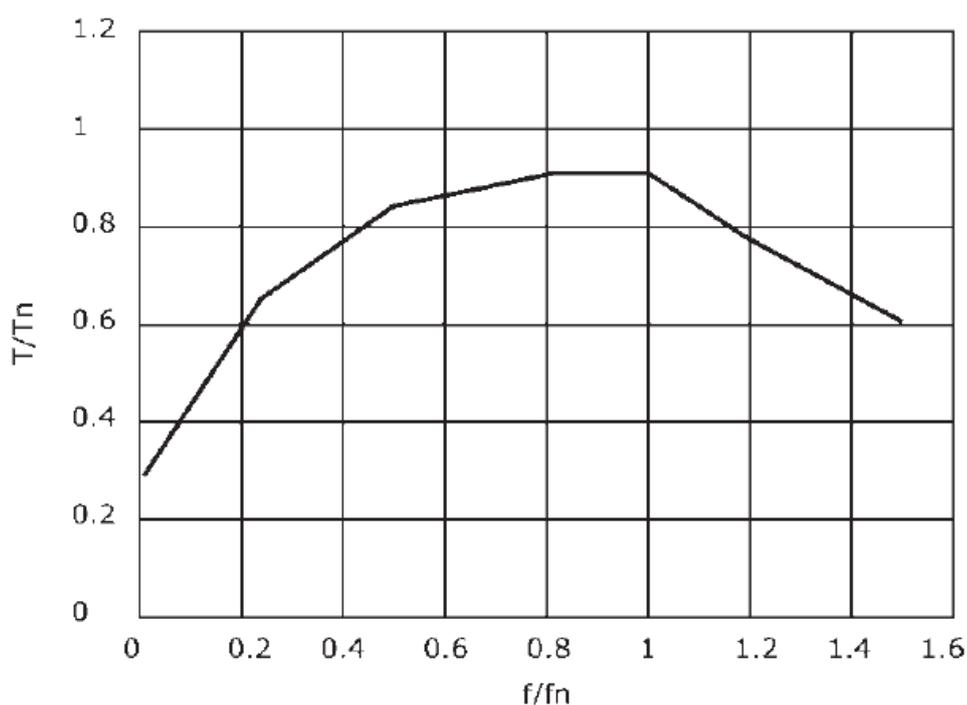


Figura 9 – Curva do fator de redução do torque para um motor autoventilado

Fonte: WEG, 2004

Analisando a Figura 9, observa-se que, para valores de f/f_n menores que “0,5”, o valor da relação T/T_n é menor. O valor da relação T/T_n se estabiliza para valores de f/f_n entre “0,5” e “1” e volta a diminuir quando a relação f/f_n for maior que “1”. As equações correspondentes a cada trecho da curva do fator de redução do torque para motores autoventilados podem ser expressas em função da frequência normalizada, que é calculada a partir da equação abaixo (WEG, 2004). O

Quadro 8 apresenta as grandezas e unidades para o cálculo da frequência normalizada.

$$f_r = \frac{f}{f_n}$$

Grandeza	Abreviação	Unidade
Frequência normalizada	f_r	Hz
Frequência de operação	f	Hz
Frequência nominal	f_n	Hz

Quadro 8 – Grandezas e unidades para o cálculo da frequência normalizada

Fonte: Próprio autor, 2012

Conforme o fabricante de motores elétricos Weg (2004) o valor do fator de redução do torque, em função da frequência normalizada pode ser calculado através das seguintes equações:

Para $0 \leq f_r < 0,25$:

$$\frac{T}{T_n} = 1,49 \times f_r + 0,28$$

Para $0,25 \leq f_r < 0,50$:

$$\frac{T}{T_n} = 0,74 \times f_r + 0,47$$

Para $0,50 \leq f_r < 0,83$:

$$\frac{T}{T_n} = 0,28 \times f_r + 0,70$$

Para $0,83 \leq f_r < 1,00$:

$$\frac{T}{T_n} = 0,93$$

Para $f_r \geq 1,00$:

$$\frac{T}{T_n} = \frac{0,93}{f_r}$$

A partir do valor do fator de redução do torque para um motor autoventilado, pode-se calcular o torque real de um motor elétrico conforme a equação:

$$T_r = T_n \times \text{fator de redução do torque } T/T_n$$

O Quadro 9 apresenta as grandezas e unidades para o cálculo do torque real de um motor elétrico.

Grandeza	Abreviação	Unidade
Torque real	T_r	kgf.cm
Torque nominal	T_n	kgf.cm
Fator de redução do torque	T/T_n	adimensional

Quadro 9 – Grandezas e unidades para o cálculo do torque real do motor elétrico

Fonte: Próprio autor, 2012

1.2.4 Inversores de frequência

Os inversores de frequência, também chamados de conversores de frequência, são dispositivos eletrônicos capazes de proporcionar a variação da velocidade de giro do eixo dos motores elétricos (WEG, 2004). A Figura 10 apresenta um inversor de frequência da marca Weg.



Figura 10 – Inversor de frequência marca Weg
Fonte: WEG, 2012

Projetados inicialmente para aplicações mais simples, os inversores de frequência são utilizados atualmente para as mais diversas aplicações, desde o acionamento de bombas até complexos sistemas de automação industrial. Eles podem substituir sistemas mecânicos de variação de velocidade, como polias e engrenagens, assim como substituir motores de corrente contínua, que são geralmente mais caros, por um conjunto mais barato e com manutenção mais simples, composto por um motor elétrico trifásico de corrente alternada e um inversor de frequência. Os inversores de frequência são utilizados também como dispositivos de proteção contra diversos problemas que podem ocorrer na rede elétrica, como por exemplo, sobrecarga, queda de tensão e desbalanceamento de fases.

Alguns modelos de inversores de frequência oferecem outros controles especiais que proporcionam além da flexibilidade da velocidade sem grandes alterações no valor do torque, aceleração suave através de programação e frenagem direta no motor sem a necessidade de freios mecânicos.

Além das vantagens técnicas, os inversores de frequência possuem ainda excelente custo-benefício, pois proporcionam economia de energia elétrica e aumento do desempenho de máquinas e equipamentos devido à adaptação da velocidade aos requisitos do processo, além de maior durabilidade de engrenagens, polias e outras transmissões mecânicas (DIGEL, 2012).

1.2.4.1 Funcionamento de um inversor de frequência

A principal função de um inversor de frequência é possibilitar a variação da velocidade de giro do eixo de um motor elétrico. Conforme o fabricante de motores elétricos Weg (2004), a velocidade real de rotação do eixo de um motor elétrico pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$n = \frac{120 \times f \times (1 - s)}{p}$$

Observa-se que a velocidade de rotação do eixo de um motor elétrico varia de acordo com o número de pólos " p ", do percentual de escorregamento " s " e da frequência da sua tensão de alimentação " f ". Destes fatores, o número de pólos e o escorregamento são características construtivas de cada motor elétrico, ou seja, não podem ser variados, porém, a frequência da tensão de alimentação do motor elétrico pode ser alterada e conseqüentemente a velocidade de rotação do seu eixo será variada também (WEG, 2004). Logo, a velocidade de rotação do eixo de um motor elétrico será variada na mesma proporção que a variação da sua frequência de alimentação.

O inversor de frequência é responsável por fornecer frequências variáveis ao motor elétrico, fazendo com que este siga frequências diferentes das fornecidas pela rede, que são sempre constantes (DIGEL, 2012). Normalmente, a faixa de variação da frequência nos inversores fica entre 0,5 Hz e 400 Hz (FAATESP, 2012).

A variação da frequência fornecida pelo inversor é obtida através de um circuito interno de chaveamento da tensão elétrica. Esse chaveamento gera uma corrente elétrica nas fases do motor e essa corrente elétrica resultante pode ser aproximada na forma de onda senoidal. A frequência desta onda senoidal será transmitida pelo inversor de frequência ao motor elétrico. A técnica de controle do chaveamento da tensão elétrica varia de acordo com o modelo do inversor de frequência e uma das técnicas mais utilizadas é o "PWM" (*Pulse Width Modulation*). Esta técnica permite a geração de ondas senoidais de frequência variável com resolução de até 0,01 Hz (WEG, 2004).

Entretanto, a função do inversor de frequência não é apenas controlar a velocidade de rotação do eixo do motor elétrico. O inversor deve também manter o torque constante para evitar alterações na rotação quando o motor estiver com carga. Para garantir que esse torque seja realmente constante, o inversor deve manter a razão “V/F” (tensão/frequência) constante, isto é, se houver alteração na frequência, o inversor deve alterar a tensão na mesma proporção.

Os inversores de frequência podem ser classificados em escalares e vetoriais. Estes dois tipos de inversores possuem basicamente a mesma estrutura de funcionamento, porém, a diferença entre eles está no modo de controle do torque do motor elétrico (FAATESP, 2012).

1.2.4.2 Inversor de frequência escalar

O funcionamento dos inversores de frequência com controle escalar está baseado numa estratégia de comando chamada “V/F constante” (WEG, 2004). Neste tipo de controle, a proporção entre tensão e frequência é fixada, ou seja, parametrizada, a fim de garantir um torque constante ao motor para qualquer velocidade.

De um modo simplificado, a tensão é variada proporcionalmente de acordo com a variação da frequência de alimentação fornecida ao motor elétrico (WEG, 2004). Por exemplo, se um inversor de frequência escalar for programado para enviar 50 Hz ao motor elétrico e a razão “V/F” estiver parametrizada em “6”, automaticamente o inversor irá alimentar esse motor elétrico com 300 V. Agora, se este mesmo inversor for programado para enviar 60 Hz ao invés de 50 Hz, ele passará a enviar 360 V para o motor elétrico, a fim de manter o valor da proporção em “6” (FAATESP, 2012).

O valor para a razão “V/F” varia de acordo com a aplicação do inversor de frequência. Quando se necessita de um grande torque, porém, baixa velocidade, deve-se atribuir ao inversor de frequência o maior valor para a razão “V/F” que o equipamento oferecer. Se a aplicação exigir operar em altas rotações e torque mais baixo, se obtém um melhor rendimento com a razão “V/F” parametrizada em valores mais baixos.

Conforme o fabricante de inversores de frequência Weg (2004), devido ao fato da variação da tensão ser proporcional a variação da frequência, este tipo de inversor apresenta algumas limitações, como:

- ✓ Oferecer altos torques operando em baixas rotações, pois, em frequências mais baixas, o valor da tensão também será mais baixo, diminuindo o torque do motor elétrico;

- ✓ Oferecer altos torques operando em altas rotações, pois, o torque do motor elétrico será limitado pela tensão da rede, ou seja, mesmo o inversor fornecendo frequências mais altas, ele não conseguirá fornecer tensões acima da tensão normal da rede.

Logo, esses inversores não são recomendados para aplicações que necessitem de alto rendimento, alto nível de precisão, elevada dinâmica (grandes acelerações ou frenagens) ou controle de torque.

Contudo, este tipo de inversor de frequência é utilizado em aplicações mais simples e o seu custo é menor se comparado aos inversores vetoriais. Como principais características técnicas este inversor escalar apresenta a capacidade de controlar a velocidade de rotação do eixo do motor com uma precisão de até 0,5 % da rotação nominal para sistemas sem variação de carga e de 3 % a 5 % nas aplicações com variação de carga de 0 a 100 % do torque nominal. A sua faixa de variação da velocidade é relativamente pequena, na ordem de 1:10 (WEG, 2004).

1.2.4.3 Inversor de frequência vetorial

Diferentemente dos inversores de frequência escalares, nos inversores vetoriais, a razão “V/F” não é parametrizada. Neste tipo de inversor esta razão varia de acordo com a solicitação de torque no motor, de modo a otimizar o torque para qualquer condição de rotação, baixa ou alta, como se um novo valor para a razão “V/F” fosse parametrizado a cada segundo, conforme cada situação.

O inversor vetorial calcula a corrente elétrica necessária para produzir o torque requerido pelo motor através da corrente elétrica do estator e da corrente de

magnetização. A corrente elétrica do estator pode ser separada em duas componentes, a corrente de magnetização e a corrente produtora de torque e estas duas componentes podem ser representadas na forma de vetores (destas características provém o nome “vetorial”). A soma vetorial destas duas componentes representa a corrente total e o seu produto vetorial é utilizado para controlar o torque do motor elétrico. A qualidade com a qual estas componentes são identificadas e controladas define o nível de desempenho deste tipo de inversor de frequência (WEG, 2004).

O controle vetorial representa um avanço tecnológico significativo, aliando as performances dinâmicas de um motor CC (alimentado com corrente contínua) e as vantagens de um motor CA (alimentado com corrente alternada). Segundo o fabricante de motores elétricos Weg (2004), as principais vantagens apresentadas por este tipo de inversor são:

- ✓ Elevada precisão de regulação da velocidade;
- ✓ Alto rendimento dinâmico;
- ✓ Controle de torque linear para aplicações de posição ou tração;
- ✓ Operação suave em baixas velocidades e sem oscilações no torque, mesmo submetido à variação de cargas.

As principais características técnicas deste tipo de inversor de frequência são possibilitar o controle da variação da velocidade com uma precisão de até 0,1 % e garantir uma grande faixa de variação da velocidade, na ordem de 1:100 (WEG, 2004).

1.2.4.4 Dimensionamento de um inversor de frequência

Os inversores de frequência (tanto os escalares quanto os vetoriais) podem ser dimensionados a partir da corrente do motor elétrico e geralmente, escolhe-se um inversor com uma capacidade de corrente igual ou um pouco superior a corrente nominal deste motor. Pode-se também dimensionar um inversor de frequência pela potência do motor elétrico a ser utilizado (WEG, 2004).

O tipo de inversor de frequência a ser utilizado deve ser escolhido conforme cada aplicação e a sua tensão deve ser igual à tensão do motor elétrico. O modelo ideal para cada aplicação deve ser escolhido consultando catálogos de fabricantes, sempre procurando atender as necessidades mínimas citadas anteriormente.

1.2.4.5 Parametrização de um inversor de frequência

Para que o inversor de frequência funcione com seu melhor rendimento, não basta dimensioná-lo e instalá-lo corretamente. É preciso “informar” ao aparelho as condições de trabalho em que ele irá operar. Essa programação recebe o nome de parametrização. Quanto maior o número de recursos que o inversor oferecer, maior será o número de parâmetros a serem informados (FAATESP, 2012).

Vários parâmetros são comuns entre os inversores de frequência, independentemente do fabricante ou do modelo, entre eles podemos citar:

- ✓ Tensão nominal do motor: indica a tensão nominal em que o inversor irá operar.
- ✓ Corrente nominal do motor: Indica o valor da corrente nominal do motor. Este valor será utilizado nos cálculos que serão feitos pelo inversor.
- ✓ Frequência mínima de saída: Indica a rotação mínima do motor.
- ✓ Frequência máxima de saída: Indica a rotação máxima do motor.
- ✓ Tempo de partida (rampa de aceleração): Indica o tempo em que o motor irá atingir a sua velocidade programada, partindo do repouso. Este parâmetro é muito importante para que se obtenha uma partida suave a fim de prolongar a vida útil dos sistemas de transmissão.
- ✓ Tempo de parada (rampa de desaceleração): Indica o tempo em que o motor irá parar de girar, estando ele na velocidade programada. Este parâmetro é utilizado para se obter uma parada gradativa do motor.

Os parâmetros disponíveis, assim como as suas identificações, variam de acordo com cada fabricante e modelo de inversor. A fim de garantir uma

parametrização correta deve-se consultar o manual técnico fornecido pelo fabricante do inversor de frequência.

1.3 PROJETO

Existem várias definições para o termo projeto, como por exemplo, a do PMI (*Project Management Institute*) que define projeto como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo (PMBOK, 2008).

Segundo a norma NBR ISO 10006 (2000), projeto pode ser definido como um processo único, consistindo de um grupo de atividades coordenadas e controladas com datas para início e término, empreendido para alcance de um objetivo conforme requisitos específicos, incluindo limitações de tempo, custo e recursos.

Para Vargas (2009), projeto é um empreendimento não repetitivo, caracterizado por uma sequência clara e lógica de eventos, com início, meio e fim, que se destina a atingir um objetivo claro e definido, sendo conduzido por pessoas dentro de parâmetros predefinidos de tempo, custo, recursos envolvidos e qualidade.

Os projetos podem ser aplicados em praticamente todas as áreas do conhecimento humano, incluindo os trabalhos administrativos, estratégicos e operacionais, ou ainda, na vida pessoal de cada um. Como exemplos de áreas onde a utilização de projetos está presente pode-se citar a administração de empresas, engenharia, construção civil e política, entre outras. Conforme o PMBOK (2008), um projeto pode ser utilizado para criar:

- ✓ Um produto que pode ser um item final ou um item componente de outro item;
- ✓ Uma capacidade de realizar um serviço, como funções de negócios que dão suporte à produção ou à distribuição;
- ✓ Um resultado, como um produto ou um documento (um projeto de pesquisa, por exemplo, desenvolve um conhecimento que pode ser utilizado para

determinar se uma tendência está presente ou se um novo processo beneficiará a sociedade).

Atualmente, os projetos apresentam-se em muitas formas e tamanhos. Alguns são de curta duração, empreendimentos baratos que duram apenas alguns dias e necessitam de recursos mínimos. Projetos de médio e longo prazo, por outro lado, podem representar empreendimentos ambiciosos que se estendem por muitos anos e exigem grandes recursos financeiros e materiais, altos níveis de habilidade técnica e científica e estruturas de administração complexas (KEELLING, 2008).

O trabalho em um projeto permanece separado das operações rotineiras, embora seu resultado possa ser uma contribuição direta ao plano de longo prazo. Um projeto é planejado, financiado e administrado como uma atividade distinta, e estando separado do trabalho de rotina, é mais fácil de ser planejado, monitorado e controlado, o que evita a necessidade de sobrecarregar aqueles que respondem pelo trabalho do dia-a-dia. É mais fácil contratar ou distribuir pessoal, *know-how* especializado, recursos financeiros e materiais, atender custos e avaliar resultados sem as complicações de envolvimento em operações de longo prazo.

1.3.1 Características de um projeto

Conforme Vargas (2009), as principais características de um projeto são a temporariedade e a individualidade do produto ou serviço a ser desenvolvido por esse projeto.

Temporariedade significa que todo projeto possui um início e um fim definidos, ou seja, é um evento com duração finita, determinada em seu objetivo. O ciclo de vida do projeto caracteriza a sua temporariedade, partindo de um processo de trabalho estratégico inicial até atingir um topo de trabalho executivo de produção que antecede o seu término. O término é alcançado quando os objetivos tiverem sido atingidos ou quando se concluir que esses objetivos não serão ou não poderão ser atingidos e o projeto for encerrado, ou quando o mesmo não for mais necessário. A temporariedade não significa necessariamente que o projeto é de curta duração,

pois a maioria dos projetos é realizada para criar um resultado duradouro (PMBOK, 2008).

A individualidade do produto ou serviço produzido pelo projeto pode ser explicada como a realização de algo que não tinha sido realizado antes. Como o produto de cada projeto é único, suas características precisam ser elaboradas de maneira progressiva de modo a garantirem as especificações do produto ou serviço a ser desenvolvido. Cada projeto cria um produto, serviço ou resultado exclusivo. Embora elementos repetitivos possam estar presentes em algumas entregas do projeto, essa repetição não muda a singularidade fundamental do trabalho do projeto. Por exemplo, prédios de escritórios são construídos com materiais idênticos ou similares ou pela mesma equipe, mas cada um é exclusivo, com diferentes projetos, circunstâncias, fornecedores, etc (PMBOK, 2008).

Vargas (2009) afirma que a partir da temporariedade e da individualidade, podem-se descrever as demais características de um projeto, dentre as quais estão:

- ✓ Empreendimento não repetitivo: É um evento que não faz parte da rotina da empresa, ou seja, é algo novo para as pessoas que o irão realizar.
- ✓ Sequência clara e lógica de eventos: O projeto é caracterizado por atividades encadeadas logicamente de modo a permitir que, durante a execução, o acompanhamento e o controle sejam precisos.
- ✓ Possui início, meio e fim: Todo o projeto respeita um determinado ciclo de vida, isto é, tem uma característica temporal. Muitas vezes, o término de um projeto coincide com o início de outro. Ter início, meio e fim não significa ser longo ou curto em duração. Podem existir projetos de menos de 1 dia ou mais de 10 anos. Porém, um projeto que não tem um término não é um projeto, é uma rotina.
- ✓ Objetivo claro e definido: Todo o projeto tem metas e resultados bem estabelecidos a serem atingidos em sua finalização.
- ✓ Conduzido por pessoas: O cerne fundamental de qualquer projeto é o homem. Sem ele, o projeto não existe, mesmo que se disponha de equipamentos modernos de controle e gestão.
- ✓ Projetos utilizam recursos: Todo o projeto utiliza recursos especificamente alocados a determinados trabalhos.
- ✓ Parâmetros predefinidos: Todo o projeto necessita ter estabelecidos valores para prazos, custos, pessoal, material e equipamentos envolvidos, bem

como a qualidade desejada para o projeto. É impossível estabelecer previamente, com total precisão, esses parâmetros, por esta razão, todos eles são claramente identificados e quantificados no decorrer do plano do projeto. Entretanto, os parâmetros iniciais vão atuar como referências para o projeto e sua avaliação.

1.3.2 Gerenciamento de projetos

Para atender a demandas de maneira eficaz, em um ambiente caracterizado pela velocidade das mudanças, torna-se indispensável um modelo de gerenciamento baseado no foco em prioridades e objetivos. Por esta razão, o gerenciamento de projetos tem crescido de maneira tão acentuada nos últimos anos.

O gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos (PMBOK, 2008). Esta afirmação condiz com a norma NBR ISO 10006 (2000), onde consta que o gerenciamento de projetos inclui o planejamento, organização, supervisão e controle de todos os aspectos do projeto, em um processo contínuo, para alcançar seus objetivos.

Já Vargas (2009), afirma que o gerenciamento de projetos é um conjunto de ferramentas gerenciais que permitem que a empresa desenvolva um conjunto de habilidades, incluindo conhecimento e capacidades individuais, destinados ao controle de eventos não repetitivos, únicos e complexos, dentro de um cenário de tempo, custo e qualidade predeterminados.

O gerenciamento de projetos não propõem nada revolucionário ou novo. Sua proposta é estabelecer um processo estruturado e lógico para lidar com eventos que se caracterizam pela novidade, complexidade e dinâmica ambiental.

Em geral, o gerenciamento de projetos pode ser aplicado a qualquer situação onde exista um empreendimento que foge ao que é fixo e rotineiro na empresa. Se o empreendimento é único e pouco familiar, é importante que a atividade de gerenciamento de projetos seja intensificada. O sucesso da gestão de projetos está intimamente ligado ao sucesso com que as atividades são relacionadas e realizadas. A base do sucesso do gerenciamento de projetos está em

identificar e diferenciar o projeto das demais atividades desenvolvidas na organização (VARGAS, 2009).

A grande dificuldade na diferenciação de um projeto de uma atividade rotineira está no fato de que a maior parte das pessoas realizam estas duas atividades simultaneamente. Frequentemente, atividades de projeto e atividades rotineiras têm as mesmas necessidades e isso faz com que sua distinção seja ainda mais difícil. A diferença básica está nos objetivos. Os projetos possuem metas claras e definidas, sendo realizados em um período definido de tempo, e não indefinidamente, como os trabalhos rotineiros.

Diversos critérios podem ser aplicados para a consideração do uso dos conceitos de gerenciamento de projetos. Ao optar pela realização de um determinado projeto, uma organização precisa utilizar diversos critérios de seleção para que os objetivos sejam atingidos, garantindo o seu sucesso. Segundo Vargas (2009), sete fatores devem ser analisados para a determinação da necessidade ou não do gerenciamento de projetos:

- ✓ Tamanho do empreendimento;
- ✓ Interdependência;
- ✓ Importância do empreendimento;
- ✓ Reputação da organização;
- ✓ Compartilhamento de recursos;
- ✓ Não familiaridade com o projeto;
- ✓ Mudanças de mercado.

Vargas (2009) afirma ainda que não é necessário que todos esses fatores sejam identificados para que se possa tratar o empreendimento como um projeto. Basta que um destes fatores seja determinante para que todo o modelo de gerenciamento de projeto seja necessário.

O gerenciamento de projetos proporciona inúmeras vantagens sobre as demais formas de gerenciamento, tendo se mostrado eficaz em conseguir os resultados desejados dentro do prazo e do orçamento definido pela organização. A principal vantagem do gerenciamento de projetos é que ele não é restrito a projetos gigantescos, de alta complexidade e custo. Ele pode ser aplicado em

empreendimentos de qualquer complexidade, orçamento e tamanho, em qualquer linha de negócios.

Vargas (2009) destaca os seguintes benefícios trazidos pelo gerenciamento de projetos:

- ✓ Evita surpresas durante a execução dos trabalhos;
- ✓ Permite desenvolver diferenciais competitivos e novas técnicas, uma vez que toda a metodologia está sendo estruturada;
- ✓ Antecipa as situações desfavoráveis que poderão ser encontradas, para que ações preventivas e corretivas possam ser tomadas antes que essas situações se consolidem como problemas;
- ✓ Disponibiliza os orçamentos antes do início dos gastos;
- ✓ Agiliza as decisões, já que as informações estão estruturadas e disponibilizadas;
- ✓ Aumenta o controle gerencial de todas as fases a serem implementadas devido ao detalhamento ter sido realizado;
- ✓ Facilita e orienta as revisões da estrutura do projeto que forem decorrentes de modificações no mercado ou no ambiente competitivo, melhorando a capacidade de adaptação do projeto;
- ✓ Otimiza a alocação de pessoas, equipamentos e materiais necessários;
- ✓ Documenta e facilita as estimativas para futuros projetos.

1.3.3 Fases de um projeto

Um projeto é desenvolvido a partir de uma ideia, progredindo para um plano, que por sua vez é executado e concluído. Cada fase do projeto é caracterizada pela entrega ou finalização de um determinado trabalho. Toda entrega deve ser tangível e de fácil identificação, como por exemplo, um relatório confeccionado, um cronograma estabelecido ou um conjunto de atividades realizadas (VARGAS, 2009).

Genericamente, um projeto pode ser dividido em fases características, que normalmente definem qual é o trabalho técnico que deve ser realizado e quem deve estar envolvido nele. O número de fases de um projeto é uma função de sua

natureza, podendo variar de projeto para projeto. Vargas (2009) e o PMBOK (2008), sugerem que os projetos podem ser divididos em 5 fases:

✓ Fase de iniciação: É a fase inicial do projeto, quando uma determinada necessidade é identificada e transformada em um problema estruturado a ser resolvido por ele. Nessa fase, a missão e o objetivo do projeto são definidos, os documentos iniciais são confeccionados e as melhores estratégias são identificadas e selecionadas.

✓ Fase de planejamento: É a fase responsável por detalhar tudo o que será realizado no projeto, incluindo cronogramas, interdependências entre atividades, alocação dos recursos envolvidos, análise de custos, etc, para que, no final dessa fase, ele esteja suficientemente detalhado para ser executado sem dificuldades e imprevistos. Nessa fase, os planos de escopo, tempo, custos, qualidade, recursos humanos, comunicações, riscos e aquisições são desenvolvidos.

✓ Fase de execução: É a fase que materializa tudo aquilo que foi planejado anteriormente. Qualquer erro cometido nas fases anteriores fica evidente durante essa fase. Grande parte do orçamento e do esforço do projeto é consumida nessa fase.

✓ Fase de monitoramento e controle: É a fase que acontece paralelamente às demais fases do projeto. Tem como objetivo acompanhar e controlar aquilo que está sendo realizado pelo projeto, de modo a propor ações corretivas e preventivas no menor espaço de tempo possível após a detecção da anormalidade. O objetivo do controle é comparar o status atual do projeto com o status previsto pelo planejamento, tomando ações preventivas e corretivas em caso de desvio.

✓ Fase de encerramento: É a fase quando a execução dos trabalhos é avaliada através de uma auditoria interna ou externa (terceiros), os documentos do projeto são encerrados e todas as falhas ocorridas durante o projeto são discutidas e analisadas para que erros similares não ocorram em novos projetos.

2 METODOLOGIA

Devido à importância que a atual sociedade tem da apropriação e generalização do conhecimento, se torna cada vez mais necessário aprender os princípios básicos da metodologia científica. Segundo Marconi e Lakatos (2011), a metodologia científica é um instrumento utilizado para valorizar e tornar mais eficiente e confiável uma pesquisa científica. Consiste em um procedimento necessário para que se obtenham conhecimentos específicos objetivos, sistemáticos, organizados e verificáveis. Conforme Prodanov e Freitas (2009), a metodologia científica preconiza uma série de regras através das quais o conhecimento deve ser obtido. Essas regras atribuem à produção científica um alto grau de confiabilidade na medida em que permitem apresentar a comprovação daquilo que afirmam.

Gil (2010) define pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então, quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema.

As razões que determinam uma pesquisa podem ser classificadas em dois grandes grupos: razões de ordem intelectual, que decorrem do desejo de conhecer pela própria satisfação de conhecer, e razões de ordem prática, que decorrem do desejo de conhecer com vistas a fazer algo de maneira mais eficiente ou eficaz (GIL, 2010).

A pesquisa científica depende de um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos para que seus objetivos sejam atingidos: os métodos científicos. Marconi e Lakatos (2011) definem método como sendo o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando a tomada de decisões. Já Prodanov e Freitas (2009), afirmam que método científico é o conjunto de processos ou operações mentais que devemos empregar na investigação, ou seja, é a linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa.

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração deste trabalho, que segue a seguinte sequência metodológica,

planejada e definida com a finalidade de atingir os objetivos do mesmo: definição do problema da pesquisa, definição dos objetivos geral e específicos, definição da metodologia, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa-ação e estudo de caso.

2.1 TIPOS DE PESQUISA

As pesquisas podem ser classificadas de acordo com os seguintes critérios: área de conhecimento, finalidade, objetivos e métodos e procedimentos adotados (GIL, 2010).

Conforme Gil (2010), a classificação em função da área de conhecimento é um sistema importante para a definição de políticas de pesquisa e concessão de financiamentos. Em relação a este critério, a pesquisa apresentada neste trabalho se enquadra na área de engenharia.

Do ponto de vista da finalidade, esta pesquisa se classifica como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos a solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais (PRODANOV; FREITAS, 2009).

Quanto aos objetivos, a pesquisa realizada pode ser classificada como exploratória, pois o seu principal propósito é proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses (GIL, 2010). Neste trabalho, a pesquisa foi realizada em livros, catálogos técnicos e sites de fabricantes, além de conversas com pessoas com experiência prática nos assuntos relacionados ao problema.

Em relação aos métodos e procedimentos, utilizou-se a pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa-ação e o estudo de caso. Diferentemente daqueles que defendem a utilização de somente um único método de pesquisa, Yin (2009) afirma que, assim como diferentes métodos científicos prevalecem nas ciências naturais, diferentes métodos de pesquisa preenchem diferentes necessidades e situações para a investigação.

Conforme Gil (2010), a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material

impresso, como livros, revistas, publicações em artigos científicos, teses ou dissertações, além de sites de internet, buscando colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa (PRODANOV; FREITAS, 2009).

Segundo Prodanov e Freitas (2009), a pesquisa documental pode ser confundida com a pesquisa bibliográfica, pois estas duas modalidades de pesquisa utilizam dados já existentes, porém, com fontes de natureza diferente. A pesquisa bibliográfica fundamenta-se em material elaborado por autores com o propósito específico de ser lido por públicos específicos enquanto que a pesquisa documental baseia-se em materiais que não receberam ainda um tratamento analítico ou que podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa. Recomenda-se que seja considerada fonte documental quando o material consultado é interno à organização, e fonte bibliográfica quando for obtido em bibliotecas ou bases de dados (GIL, 2010).

Gil (2010) afirma que a pesquisa-ação tem características situacionais, procurando diagnosticar um problema específico numa situação específica, com vistas a alcançar algum resultado prático e segundo Prodanov e Freitas (2009), o objetivo da pesquisa-ação consiste em resolver ou pelo menos esclarecer os problemas da situação observada.

Para Yin (2009), os estudos de caso são o método preferido para responder questões do tipo “como” ou “por que” ou quando o investigador tem pouco controle sobre os eventos. Neste tipo de pesquisa, a riqueza do fenômeno e a extensão do contexto da vida real exigem que os investigadores enfrentem uma situação tecnicamente distinta: existirão muito mais variáveis de interesse do que pontos de dados. Em resposta a esta dificuldade, uma tática essencial é utilizar múltiplas fontes de evidência, de forma que os dados convirjam de modo triangular (YIN, 2009).

2.2 COLETA DE DADOS

Os estudos de caso requerem a utilização de múltiplas técnicas de coleta de dados, a fim de garantir a profundidade necessária ao estudo e a inserção do caso

em seu contexto, bem como para conferir maior credibilidade aos resultados (GIL, 2010). Gil (2010) afirma ainda que os estudos de caso executados com rigor requerem a utilização de fontes documentais, entrevistas e observações.

Segundo Yin (2009), as evidências de um estudo de caso podem vir de seis fontes: documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos. O uso dessas seis fontes exige o domínio de diferentes procedimentos de coleta de dados.

A coleta de dados para o estudo de caso apresentado neste trabalho foi realizada a partir da análise das características técnicas da máquina para entretelar modelo WSK 404 e de observações e conversas com operadores desta máquina, a fim de determinar as características técnicas necessárias para obter um processo de entretelar com a qualidade desejada.

2.3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A análise e a interpretação dos dados desenvolvem-se a partir das evidências observadas, de acordo com a metodologia, com relações feitas através do referencial teórico e complementadas com o posicionamento do pesquisador. O objetivo desta etapa é responder, do melhor modo possível, ao problema de investigação formulado e verificar as hipóteses elaboradas (PRODANOV; FREITAS, 2009).

Confrontando o conteúdo da pesquisa bibliográfica realizada com os dados coletados, executou-se o estudo sobre a melhor maneira de atender as necessidades determinadas a partir da coleta de dados para as características técnicas da máquina para entretelar modelo WSK 404.

No que diz respeito às técnicas de análise utilizadas, utilizou-se tanto a técnica quantitativa quanto a qualitativa. Conforme Prodanov e Freitas (2009), a análise quantitativa considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números as opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Sobre a análise qualitativa, Prodanov e Freitas (2009) afirmam que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números.

Neste tipo de análise, o ambiente natural é a fonte direta para a coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave.

2.4 SEQUÊNCIA METODOLÓGICA PARA O ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de organizar os dados e evitar equívocos de procedimento, definiu-se a sequência metodológica para a elaboração do estudo de caso. Esta sequência metodológica é apresentada na Figura 11.



Figura 11 – Sequência metodológica definida para a elaboração do estudo de caso

Fonte: Próprio autor, 2012

Inicialmente, serão definidos os dados técnicos do projeto e a proposta para o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 será apresentada. Logo após, este novo sistema proposto será dimensionado e a sua viabilidade econômica será analisada. Por fim,

será construído um protótipo a fim de se obter a aprovação técnica deste novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 HISTÓRICO DA EMPRESA

Com o objetivo de fabricar máquinas para montagem de calçados, foi fundada no ano de 1975 a Indústria de Máquinas ERPS. Acompanhando a tendência dos países de primeiro mundo, a empresa optou inicialmente por fabricar máquinas comandadas por sistemas hidráulicos, tecnologia preferida até hoje pela maioria das indústrias fabricantes de máquinas para montagem de calçados.

Situada na cidade de Novo Hamburgo, na Rua Christian Huber nº405, bairro Vila Nova, a empresa conta atualmente com cerca de 60 funcionários, na sua grande maioria com formação técnica.

A linha de máquinas produzidas atualmente pela empresa inclui entre outras, máquinas de montar bico com ou sem enfranque, calceiras, máquinas para entretelar, conformar e carimbar. Toda a linha de máquinas produzidas pela empresa pode ser visualizada no site www.erps.com.br.

A empresa possui um setor de pesquisa, criação e desenvolvimento responsável por projetar todos os equipamentos fabricados. As peças das máquinas são produzidas internamente ou terceirizadas e a montagem e regulagem das máquinas é realizada por funcionários da empresa. Os *softwares* utilizados nas máquinas também são desenvolvidos internamente.

A empresa possui monitoramento técnico com equipe própria e os funcionários são especialmente treinados para fornecer todo o suporte técnico e treinamento necessário ao mercado, tanto no Brasil quanto no exterior.

Sempre buscando investir em pesquisa e desenvolvimento, a empresa disponibiliza ao mercado opções adequadas ao tamanho de cada empresa ou nível tecnológico exigido. Equipamentos com recursos de “*setup*” rápido proporcionam agilidade na troca de ferramentais, facilitando a produção de diversos tamanhos de lotes, exigência atual do mercado devido à diversificação de modelos, formas e materiais dos calçados (ERPS, 2012).

A ação integrada com o fornecedor de *hardware* e o desenvolvimento de *softwares* específicos para cada modelo de máquina permite disponibilizar

tecnologia de última geração para as mais diversas máquinas de montagem de calçados.

Segurança, ergonomia, inovação, desempenho, baixo índice de manutenção e qualidade no produto final são algumas das prioridades que orientam o desenvolvimento da tecnologia e ratificam o conceito e a tradição da empresa no mercado mundial (ERPS, 2012).

3.2 DEFINIÇÃO DOS DADOS DO PROJETO

A definição dos dados do projeto foi obtida através da análise do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404. A Figura 12 apresenta o sistema de transmissão de movimento desta esteira transportadora.

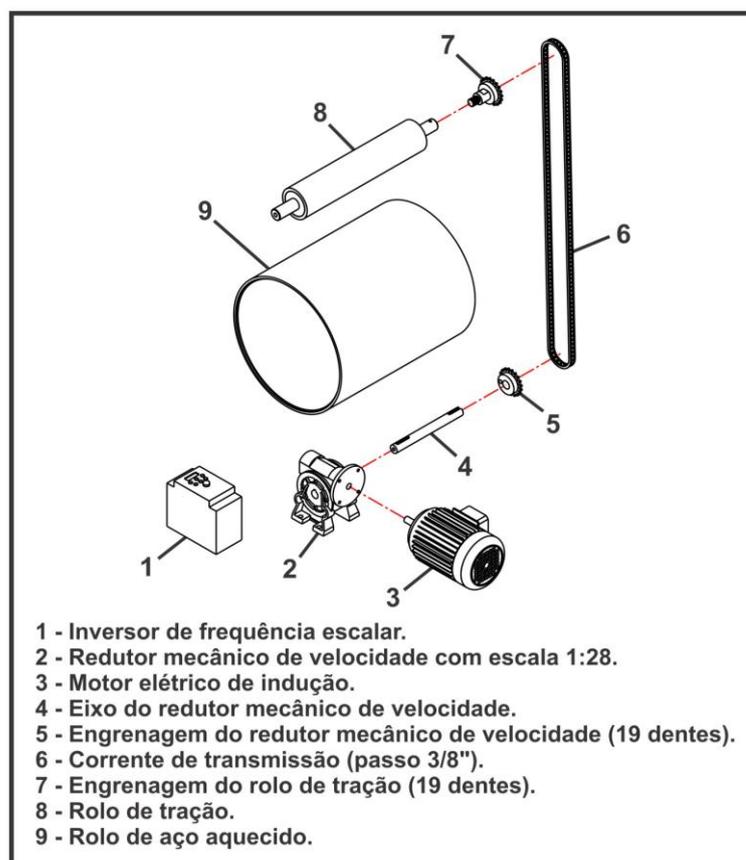


Figura 12 – Sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404

Fonte: Próprio autor, 2012

A esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 é movimentada a partir do torque fornecido por um motor elétrico de indução (3), cujos dados técnicos são: 0,5 CV de potência, 4 pólos e alimentação com corrente alternada e 60 Hz de frequência. A velocidade de rotação do eixo deste motor elétrico é controlada por um inversor de frequência escalar (1).

O motor elétrico de indução (3) é acoplado a um redutor mecânico de velocidade (2) com escala 1:28, que neste sistema, tem a função de transferir o movimento de rotação do eixo do motor para o eixo do redutor mecânico (4), cuja velocidade de rotação será inferior a velocidade de rotação fornecida pelo motor elétrico de indução (3). Além disto, o redutor mecânico de velocidade tem a função de multiplicar o torque fornecido pelo motor elétrico na mesma proporção em que a velocidade de rotação do eixo deste motor for reduzida.

A transmissão do movimento de rotação é realizada através de uma corrente de transmissão (6) cujo passo é 3/8", montada sobre duas engrenagens com 19 dentes cada (engrenagens 5 e 7). A engrenagem da parte inferior (5) é fixada no eixo do redutor mecânico de velocidade (4) enquanto que a engrenagem superior (7) é fixada no rolo de tração (8). Como estas duas engrenagens possuem o mesmo número de dentes, trata-se de uma transmissão de movimento rotativo com velocidade de rotação igual (ANTUNES; FREIRE, 1997), ou seja, a velocidade de rotação no rolo de tração (velocidade de rotação da esteira transportadora) será igual à velocidade de rotação no eixo do redutor mecânico de velocidade.

A partir da análise do sistema de transmissão de movimento descrito acima, observa-se que dois fatores são relevantes para o dimensionamento adequado deste sistema: o torque no rolo de tração e a faixa de variação da velocidade da esteira transportadora. O valor do torque no eixo de tração define as características do motor elétrico, enquanto que a determinação da faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora é importante para definir as características do inversor de frequência e do redutor mecânico de velocidade.

3.2.1 Verificação da faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora

Na máquina para entretelar modelo WSK 404, um inversor de frequência escalar é responsável por variar a velocidade de giro do eixo do motor elétrico, e consequentemente a velocidade de rotação da esteira transportadora. O inversor de frequência escalar utilizado nesta máquina é regulado para alimentar o motor elétrico com frequências entre 15 Hz e 60 Hz (ERPS, 2012). Estes valores foram determinados através de testes com diversos tipos de materiais, e nestas condições foram obtidos os melhores resultados para o processo de entretelar.

A partir das frequências mínima e máxima de alimentação do motor elétrico e do valor do escorregamento “*s*” deste motor, é possível calcular a faixa de variação da velocidade de rotação do eixo do motor elétrico através da equação da velocidade real de rotação do eixo de um motor elétrico (WEG, 2004). Inicialmente determinou-se o valor do escorregamento “*s*” do motor elétrico.

$n = 1700$ rpm (obtido através do catálogo técnico do fabricante de motores elétricos Voges, conforme anexo “A”)

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$p = 4 \text{ pólos}$$

$$n = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \rightarrow 1700 \text{ rpm} = \frac{120 \cdot 60 \text{ Hz} \cdot (1 - s)}{4}$$

$$s = 0,0555$$

A partir do valor do escorregamento “*s*” calculado acima, pode-se determinar a faixa de variação da velocidade de giro do eixo do motor elétrico. A velocidade mínima de rotação será obtida quando o motor elétrico for alimentado com 15 Hz e a velocidade máxima quando for alimentado com 60 Hz.

✓ Velocidade de rotação no eixo do motor elétrico quando este é alimentado com frequência de 15 Hz:

$$n_{15Hz} = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \rightarrow n_{15Hz} = \frac{120 \cdot 15 \text{ Hz} \cdot (1 - 0,0555)}{4}$$

$$n_{15Hz} = 425 \text{ rpm}$$

✓ Velocidade de rotação no eixo do motor elétrico quando este é alimentado com frequência de 60 Hz:

$$n_{60Hz} = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \rightarrow n_{60Hz} = \frac{120 \cdot 60 \text{ Hz} \cdot (1 - 0,0555)}{4}$$

$$n_{60Hz} = 1700 \text{ rpm}$$

Observa-se que, com o inversor de frequência escalar regulado para alimentar o motor elétrico com frequências entre 15 Hz e 60 Hz, a rotação no eixo deste motor varia de 425 rpm a 1700 rpm. Utilizando os valores da faixa de variação da velocidade de rotação do eixo do motor elétrico, pode-se calcular a velocidade de rotação do eixo do redutor mecânico de velocidade, e conseqüentemente a faixa de variação da velocidade da esteira transportadora. Como a engrenagem que está fixada no eixo do redutor mecânico de velocidade possui o mesmo número de dentes do que a engrenagem fixada ao rolo de tração (19 dentes cada), a velocidade de rotação da primeira engrenagem será transmitida integralmente para a segunda, ou seja, as duas engrenagens terão a mesma velocidade de rotação (ANTUNES; FREIRE, 1997). A escala do redutor mecânico de velocidade acoplado ao motor elétrico é 1:28, logo, a velocidade de rotação do eixo do motor elétrico será reduzida em 28 vezes.

$$n_{15Hz} = \frac{425 \text{ rpm}}{28} \rightarrow n_{15Hz} = 15,1 \text{ rpm}$$

$$n_{60Hz} = \frac{1700 \text{ rpm}}{28} \rightarrow n_{60Hz} = 60,7 \text{ rpm}$$

Conforme os cálculos, verifica-se que a velocidade de rotação da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 varia aproximadamente entre 15 rpm e 60 rpm.

3.2.2 Verificação do torque necessário para movimentar a esteira transportadora

Para determinar o valor do torque necessário no rolo de tração para movimentar a esteira transportadora foi utilizado um dinamômetro de mola para medir a força necessária para realizar o movimento. Conforme o fabricante de motores elétricos WEG (2004), pode-se determinar o torque demandado para por em movimento uma máquina, medindo a força necessária para provocar esse movimento. A Figura 13 apresenta o dinamômetro de mola utilizado para verificar a força necessária para movimentar a esteira transportadora.



Figura 13 – Dinamômetro de mola
Fonte: Próprio autor, 2012

Uma corrente foi engatada na engrenagem do rolo de tração e utilizou-se o gancho do dinamômetro para movimentar a esteira transportadora, conforme representação da Figura 14. Verificou-se que para movimentar a esteira transportadora é necessária uma força “ F ” de 4 kgf no rolo de tração.

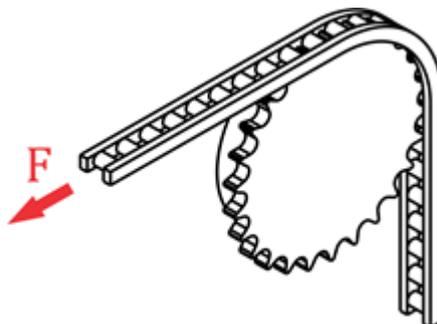


Figura 14 – Representação do teste realizado para verificar o torque necessário para movimentar a esteira transportadora

Fonte: Próprio autor, 2012

Inicialmente este teste foi realizado com a esteira transportadora livre, ou seja, sem nenhum material sendo transportado. Como são utilizados diversos tipos de materiais, com várias espessuras diferentes, realizou-se o mesmo teste simulando o transporte de um pedaço de couro com aproximadamente 2 mm de espessura (esta espessura foi escolhida por representar a espessura máxima dos materiais utilizados normalmente nas indústrias). Nestas condições, verificou-se que são necessários 18 kgf para movimentar o rolo de tração.

A partir do valor da força “ F ” necessária para movimentar o rolo de tração e do comprimento do raio “ r ” da engrenagem, é possível determinar-se o valor do torque “ T ” no rolo de tração, necessário para movimentar a esteira transportadora. A Figura 15 apresenta a representação do torque no rolo de tração.

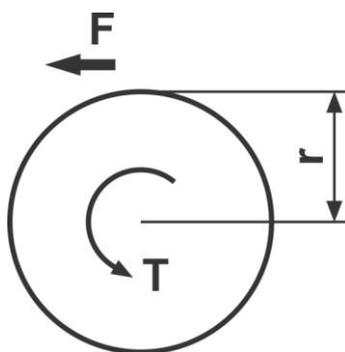


Figura 15 – Representação do torque no eixo do rolo de tração

Fonte: Próprio autor, 2012

Conforme o fabricante de motores elétricos Weg (2004), o torque “ T ” pode ser calculado através da equação $T = F \times r$.

$F = 18$ kgf (força necessária para movimentar o rolo de tração, determinada através do teste com o dinamômetro de mola).

$r = 29$ mm = 2,9 cm (conforme o anexo “B”, o valor do diâmetro primitivo da engrenagem com passo 3/8” e 19 dentes é aproximadamente Ø58 mm, logo, o comprimento do raio é 29 mm).

$$T = F \times r \rightarrow T = 18 \text{ kgf} \cdot 2,9 \text{ cm}$$

$$T = 52,2 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

A partir do cálculo apresentado acima, observa-se que, para transportar um pedaço de couro com aproximadamente 2 mm de espessura sobre a esteira transportadora ao redor do rolo aquecido de aço é necessário um torque de 52,2 kgf.cm no rolo de tração.

3.3 PROPOSTA DO NOVO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA

Com o objetivo de verificar os itens com maior custo no atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404, realizou-se um levantamento sobre o custo das principais peças que compõem este conjunto, apresentado na Tabela 3. Os custos apresentados nesta tabela foram obtidos através de orçamentos com os atuais fornecedores destes itens.

Tabela 3 – Custo das principais peças do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404

Descrição	Quantidade	Custo unitário
Inversor de frequência escalar	1	R\$ 340,00
Redutor mecânico de velocidade	1	R\$ 330,00
Motor elétrico	1	R\$ 250,00
Demais peças mecânicas	1	R\$ 140,00
Custo total		R\$ 1.060,00

Fonte: Próprio autor, 2012.

Analisando a Tabela 3, verificou-se que os itens de maior custo são, em ordem decrescente, o inversor de frequência, o redutor mecânico de velocidade e o motor elétrico. Diante desta constatação, observou-se que uma das possibilidades para alcançar o objetivo de dimensionar um sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora com um custo inferior ao custo atual é alterar algum destes componentes. Com esta ideia, realizou-se uma análise sobre a função e a importância de cada um destes componentes neste sistema.

O motor elétrico é responsável por fornecer o movimento de rotação para a esteira transportadora, tornando-se indispensável para o conjunto.

O redutor mecânico de velocidade é utilizado para auxiliar o inversor de frequência na tarefa de reduzir a velocidade da esteira transportadora, além de multiplicar o torque fornecido pelo motor elétrico.

O inversor de frequência é utilizado para controlar a velocidade de rotação do motor elétrico, e conseqüentemente a velocidade de rotação da esteira transportadora. Esse recurso torna-se indispensável devido à necessidade da utilização de diferentes velocidades de rotação da esteira transportadora, em função do tipo de material que será entretelado. Além de proporcionar um processo de entretelar com melhor qualidade, este ajuste da velocidade de rotação permite um aumento no volume de produção.

Outra forma de proporcionar a regulação da velocidade de rotação da esteira transportadora seria utilizar um sistema mecânico com uma polia variadora, porém, a utilização do inversor de frequência torna esta operação mais rápida e precisa.

Quando a máquina para entretelar modelo WSK 404 foi projetada, a tecnologia existente era limitada e os inversores de frequência existentes na época não eram capazes de reduzir a rotação do motor elétrico sem apresentar efeitos

prejudiciais ao processo ou aos equipamentos. Atualmente é possível, com o aprimoramento dos inversores de frequência e de suas características de funcionamento, por exemplo, reduzir a rotação do motor elétrico sem alteração significativa de torque (WEG, 2004).

Analisando os tipos e os recursos dos inversores de frequência existentes no mercado, observou-se a possibilidade de realizar a transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 sem a utilização do redutor mecânico de velocidade.

A proposta para tentar atingir o objetivo deste trabalho é dimensionar um sistema de transmissão de movimento para a esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 sem a utilização de um redutor mecânico de velocidade. O dimensionamento do novo sistema deve ser realizado com o objetivo de manter o rendimento, produtividade e qualidade no processo de entretelar proporcionado pelo sistema atual, e para isso, este novo sistema deve atender as seguintes características técnicas:

- ✓ Faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora entre 20 rpm e 60 rpm (a partir de dados obtidos com os clientes, observou-se que dificilmente utiliza-se a velocidade mínima de rotação da esteira transportadora, calculada em 15 rpm, logo, estipulou-se que 20 rpm seria um valor suficiente para a velocidade de rotação mínima).

- ✓ Torque no rolo de tração superior a 52,2 kgf.cm.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO NOVO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA

O novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 foi dimensionado em função de duas características técnicas: a faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora e o torque necessário para movimentar esta esteira transportadora.

3.4.1 Dimensionamento em função da faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora

Estipulou-se que a faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora deve ser entre 20 rpm e 60 rpm. Devido à característica de não apresentar perdas por escorregamento (ANTUNES; FREIRE, 1997), determinou-se que o movimento de rotação fornecido pelo motor elétrico será transmitido por uma corrente acoplada a duas engrenagens, uma fixada ao eixo do motor elétrico e outra fixada ao rolo de tração. Inicialmente verificou-se quais as frequências correspondentes às velocidades de rotação mínima e máxima estipuladas (frequências a serem parametrizadas no inversor de frequência), sem nenhuma alteração nas peças da máquina, somente com a retirada do redutor mecânico de velocidade deste sistema. Estas frequências foram calculadas através da equação da velocidade real de rotação do eixo de um motor elétrico (WEG, 2004).

✓ Frequência a ser fornecida ao motor elétrico para que a velocidade de rotação da esteira transportadora seja de 20 rpm:

$$n = 20 \text{ rpm}$$

$$s = 0,0555$$

$$p = 4 \text{ pólos}$$

$$n = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \rightarrow f = \frac{n \cdot p}{120 \cdot (1 - s)} \rightarrow f_{20rpm} = \frac{20rpm \cdot 4}{120 \cdot (1 - 0,0555)}$$

$$f_{20rpm} = 0,7 \text{ Hz}$$

✓ Frequência a ser fornecida ao motor elétrico para que a velocidade de rotação da esteira transportadora seja de 60 rpm:

$$n = 60 \text{ rpm}$$

$$s = 0,0555$$

$$p = 4 \text{ pólos}$$

$$n = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \rightarrow f = \frac{n \cdot p}{120 \cdot (1 - s)} \rightarrow f_{60rpm} = \frac{60rpm \cdot 4}{120 \cdot (1 - 0,0555)}$$

$$f_{60rpm} = 2,1 \text{ Hz}$$

Conforme os cálculos apresentados acima, verificou-se que para atender a faixa de variação de velocidade de rotação estipulada para a esteira transportadora, o inversor de frequência deve ser parametrizado para fornecer frequências entre 0,7 Hz e 2,1 Hz para o motor elétrico. Porém, os fabricantes de inversores de frequência recomendam a utilização de frequências de trabalho acima de 6 Hz para que se obtenha um melhor desempenho do torque do motor elétrico (ABB, 2012). Determinou-se então a velocidade de rotação da esteira transportadora quando o motor é alimentado com frequência de 6 Hz.

$$f = 6 \text{ Hz}$$

$$s = 0,0555$$

$$p = 4 \text{ pólos}$$

$$n = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \rightarrow n_{6Hz} = \frac{120 \cdot 6Hz \cdot (1 - 0,0555)}{4}$$

$$n_{6Hz} = 170 \text{ rpm}$$

Através do cálculo acima, observa-se que alimentando o motor elétrico com frequência de 6 Hz, a velocidade de rotação do eixo do motor elétrico, e consequentemente da esteira transportadora é de 170 rpm. Logo, em função da frequência mínima de trabalho, verifica-se a necessidade de dimensionar um sistema mecânico de redução de velocidade para atender as especificações técnicas do sistema proposto. Conforme Antunes e Freire (1997), obtém-se uma redução de velocidade quando o movimento de rotação é transmitido de uma engrenagem ou polia menor para uma engrenagem ou polia maior. Dimensionou-se então um sistema mecânico de redução de velocidade em um estágio, por meio de um conjunto de engrenagens, conforme representação da Figura 16.

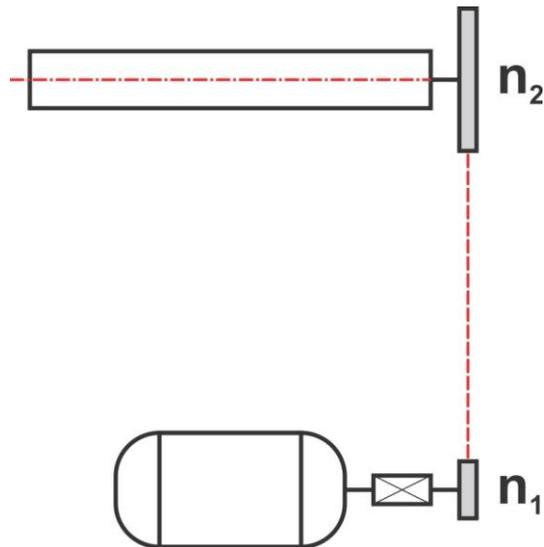


Figura 16 – Representação do sistema mecânico de redução de velocidade em um estágio
 Fonte: Próprio autor, 2012

A partir do valor da velocidade de rotação no eixo do motor elétrico “ n_1 ” quando este é alimentado com frequência de 6 Hz, determinou-se a relação de transmissão de movimento “ i ” necessária para fornecer ao rolo de tração a velocidade de rotação “ n_2 ” de 20 rpm.

$$n_1 = 170 \text{ rpm}$$

$$n_2 = 20 \text{ rpm}$$

$$i = \frac{n_{6\text{Hz}}}{n_{desejada}} \rightarrow i = \frac{170 \text{ rpm}}{20 \text{ rpm}}$$

$$i = 8,5$$

Portanto, a relação de transmissão de movimento necessária para fornecer ao rolo de tração a velocidade de 20 rpm é de 1:8,5, porém, conforme Antunes e Freire (1997), a relação de transmissão para a utilização de correntes não deve ser superior a 1:6. Logo, verificou-se a necessidade de realizar esse sistema mecânico de redução de velocidade em dois estágios, conforme a representação da Figura 17.

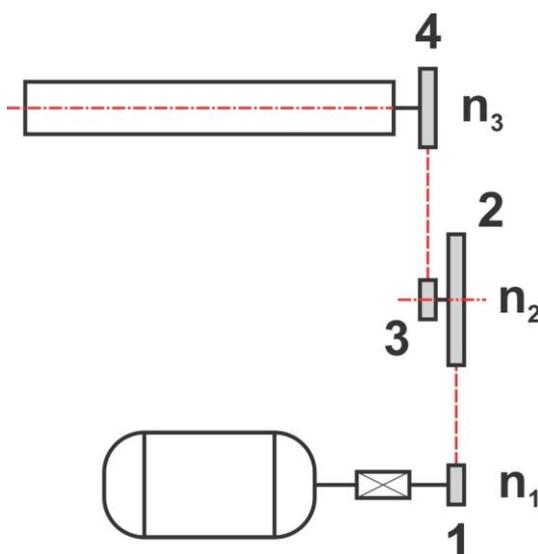


Figura 17 – Representação do sistema mecânico de redução de velocidade em dois estágios
 Fonte: Próprio autor, 2012

Com o objetivo de reduzir o custo e facilitar a compra no mercado, utilizou-se engrenagens com número de dentes padronizado, conforme tabela do fornecedor (anexo “B”). As engrenagens foram selecionadas em função do espaço físico disponível na máquina e da facilidade de obtenção junto ao fornecedor atual de engrenagens. Utilizou-se uma engrenagem com 12 dentes como a menor engrenagem e a partir da relação de transmissão calculada, determinou-se as engrenagens a serem utilizadas para atender as características técnicas estipuladas. A Tabela 4 apresenta as engrenagens selecionadas para o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora.

Tabela 4 – Engrenagens selecionadas para o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora

Engrenagem	Número de dentes (z)	Ø primitivo (mm)
1	12	Ø37 mm
2	54	Ø164 mm
3	12	Ø37 mm
4	26	Ø79 mm

Fonte: Próprio autor, 2012.

Utilizando as engrenagens selecionadas, determinou-se as velocidades de rotação “ n_2 ” (no eixo central com duas engrenagens) e “ n_3 ” (no rolo de tração, velocidade correspondente a velocidade de rotação da esteira transportadora) quando o motor elétrico é alimentado com frequência de 6 Hz. Essas rotações foram

calculadas através da equação do cálculo da relação de transmissão (ANTUNES; FREIRE, 1997).

$$n_1 = 170 \text{ rpm}$$

$$z_1 = 12 \text{ dentes}$$

$$z_2 = 54 \text{ dentes}$$

$$z_3 = 12 \text{ dentes}$$

$$z_4 = 26 \text{ dentes}$$

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow n_2 = \frac{z_1 \cdot n_1}{z_2} \rightarrow n_2 = \frac{12 \text{ dentes} \cdot 170 \text{ rpm}}{54 \text{ dentes}}$$

$$n_2 = 37,8 \text{ rpm}$$

$$\frac{z_4}{z_3} = \frac{n_2}{n_3} \rightarrow n_3 = \frac{z_3 \cdot n_2}{z_4} \rightarrow n_3 = \frac{12 \text{ dentes} \cdot 37,8 \text{ rpm}}{26 \text{ dentes}}$$

$$n_3 = 17,5 \text{ rpm}$$

Observa-se que, realizando o sistema mecânico de redução de velocidade em dois estágios proposto acima e com o motor elétrico alimentado com frequência de 6 Hz, a velocidade de rotação no rolo de tração é de 17,5 rpm. Utilizando a velocidade de rotação no rolo de tração e no eixo do motor elétrico é possível determinar a relação de redução real obtida com as engrenagens selecionadas.

$$n_1 = 170 \text{ rpm}$$

$$n_3 = 17,5 \text{ rpm}$$

$$i_{real} = \frac{n_1}{n_3} \rightarrow i_{real} = \frac{170 \text{ rpm}}{17,5 \text{ rpm}}$$

$$i_{real} = 9,7$$

Verifica-se que a relação de redução real é de 1:9,7 e a partir desta relação determinou-se a velocidade de rotação do eixo do motor elétrico para que se obtenha a velocidade de rotação de 60 rpm no rolo de tração.

$$i_{real} = 9,7$$

$$n_{desejado} = 60 \text{ rpm}$$

$$i_{real} = \frac{n_{motor}}{n_{desejado}} \rightarrow n_{motor} = i_{real} \cdot n_{desejado} \rightarrow n_{motor} = 9,7 \cdot 60 \text{ rpm}$$

$$n_{motor} = 582 \text{ rpm}$$

Logo, para que se obtenha uma velocidade de rotação de 60 rpm no rolo de tração, o eixo do motor elétrico deve girar a uma velocidade de rotação de 582 rpm. A partir desta velocidade determinou-se a frequência com que o motor elétrico deverá alimentado para atingir esta velocidade (frequência a ser parametrizada no inversor de frequência).

$$n = 582 \text{ rpm}$$

$$s = 0,0555$$

$$p = 4 \text{ pólos}$$

$$n = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p} \rightarrow f = \frac{n \cdot p}{120 \cdot (1 - s)} \rightarrow f_{582rpm} = \frac{582 \text{ rpm} \cdot 4}{120 \cdot (1 - 0,0555)}$$

$$f_{582rpm} = 20,5 \text{ Hz}$$

Portanto, se o inversor de frequência for parametrizado para fornecer frequências entre 6 Hz e 20,5 Hz ao motor elétrico, a faixa de variação da velocidade de rotação do rolo de tração, e conseqüentemente da esteira transportadora será de 17,5 rpm a 60 rpm, atendendo as características técnicas estipuladas em relação a faixa de variação da velocidade de rotação da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404.

3.4.2 Dimensionamento em função do torque necessário para movimentar a esteira transportadora

Conforme o cálculo realizado anteriormente, o torque necessário para movimentar a esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 é de 52,2 kgf.cm. Estipulou-se um fator de segurança de 50 % sobre este valor a fim de garantir a força necessária para transportar eventualmente um material mais espesso, conforme o cálculo abaixo:

$$T_{real} = 52,2 \text{ kgf.cm.}$$

$$T_{mínimo} = T_{real} \cdot 1,5 \rightarrow T_{mínimo} = 52,2 \text{ kgf.cm} \cdot 1,5$$

$$T_{mínimo} = 78,3 \text{ kgf.cm}$$

Observa-se que, utilizando um fator de segurança de 50 %, o torque mínimo necessário no rolo de tração para colocar em movimento a esteira transportadora deve ser igual a aproximadamente 78 kgf.cm. A partir do cálculo do fator de redução do torque (WEG, 2004) e do cálculo do momento torçor provocado pelo motor elétrico (ANTUNES; FREIRE, 1997), determinou-se o valor do torque no rolo de tração quando o motor é alimentado com frequências de 6 Hz e 20,5 Hz (o valor destes torques deve ser igual ou superior a 78 kgf.cm).

✓ Torque no rolo de tração quando o motor elétrico é alimentado com frequência de 6 Hz:

Conforme os dados técnicos obtidos no catálogo do fabricante do motor elétrico (anexo "A"), verifica-se que, quando alimentado com frequência de 60 Hz, o torque do motor elétrico de 4 pólos com potência de 0,5 CV é igual a 0,21 kgf.m. Levando-se em consideração o fator de redução do torque quando as frequências de trabalho são reduzidas (WEG, 2004), determinou-se o valor da frequência normalizada " f_r " e do torque real do motor elétrico " T_r " quando este é alimentado com frequência de 6 Hz.

$f = 6 \text{ Hz}$ (frequência de operação)

$f_n = 60 \text{ Hz}$ (frequência nominal do motor elétrico)

$$f_r = \frac{f}{f_n} = \frac{6 \text{ Hz}}{60 \text{ Hz}}$$

$$f_r = 0,1$$

Conforme o fabricante de motores elétricos Weg (2004), como $0 \leq f_r < 0,25$, o valor da relação torque real / torque nominal do motor elétrico pode ser calculada pela equação abaixo.

$$f_r = 0,1$$

$$\frac{T}{T_n} = 1,49 \times f_r + 0,28 \rightarrow 1,49 \times 0,1 + 0,28$$

$$\frac{T}{T_n} = 0,429$$

A partir do valor da relação torque real / torque nominal, determinou-se o valor do torque real no eixo do motor elétrico quando este é alimentado com frequência de 6 Hz.

$T_n = 0,21 \text{ kgf.m} = 21 \text{ kgf.cm}$ (torque do motor elétrico quando este é alimentado com frequência de 60 Hz)

$$\text{fator de redução do torque } T/T_n = 0,429$$

$$T_r = T_n \times \text{fator de redução do torque } T/T_n \rightarrow 21 \text{ kgf.cm} \times 0,429$$

$$T_r = 9 \text{ kgf.cm}$$

Utilizando o valor do torque real no eixo do motor elétrico, determinou-se a potência mecânica real fornecida neste eixo.

$$Mt_1 = 9 \text{ kgf.cm}$$

$$n_1 = 170 \text{ rpm}$$

$$Mt_1 = 71620 \cdot \frac{P_1}{n_1} \rightarrow P_1 = \frac{Mt_1 \cdot n_1}{71620} \rightarrow P_1 = \frac{9 \text{ kgf.cm} \cdot 170 \text{ rpm}}{71620}$$

$$P_1 = 0,0214 \text{ CV}$$

A partir do valor da potência mecânica real fornecida no eixo do motor elétrico, determinou-se a potência disponível no eixo central “ P_2 ” e no eixo do rolo de tração “ P_3 ”, levando-se em consideração que o rendimento nas transmissões de movimento por correntes é de 97 % (ANTUNES; FREIRE, 1997). Estes eixos estão representados na Figura 17.

$$P_1 = 0,0214 \text{ CV}$$

$$P_2 = P_1 \cdot 97\% \rightarrow P_2 = 0,0214 \text{ CV} \cdot 0,97 \rightarrow P_2 = 0,0207 \text{ CV}$$

$$P_3 = P_2 \cdot 97\% \rightarrow P_3 = 0,0207 \text{ CV} \cdot 0,97 \rightarrow P_3 = 0,02 \text{ CV}$$

Utilizando o valor da potência mecânica no eixo do rolo de tração “ P_3 ”, determinou-se o momento torçor “ Mt_3 ” neste eixo.

$$P_3 = 0,02 \text{ CV}$$

$$n_3 = 17,5 \text{ rpm}$$

$$Mt_3 = 71620 \cdot \frac{P_3}{n_3} \rightarrow Mt_3 = 71620 \cdot \frac{P_3}{n_3} \rightarrow Mt_3 = 71620 \cdot \frac{0,02 \text{ CV}}{17,5 \text{ rpm}}$$

$$Mt_3 = 81,8 \text{ kgf.cm}$$

Verifica-se que o torque no rolo de tração, quando o motor elétrico é alimentado com 6 Hz de frequência é igual a aproximadamente 82 kgf.cm. Este valor atende aos requisitos técnicos estipulados, pois o valor é superior ao torque mínimo de 78 kgf.cm.

✓ Torque no rolo de tração quando o motor elétrico é alimentado com frequência de 20,5 Hz:

Os mesmos procedimentos de cálculo foram realizados para a frequência de alimentação do motor elétrico de 20,5 Hz. Inicialmente determinou-se o valor frequência normalizada " f_r " e da relação torque real / torque nominal do motor elétrico para esta condição.

$$f = 20,5 \text{ Hz}$$

$$f_n = 60 \text{ Hz}$$

$$f_r = \frac{f}{f_n} = \frac{20,5 \text{ Hz}}{60 \text{ Hz}}$$

$$f_r = 0,34$$

Como $0,25 \leq f_r < 0,50$, o valor da relação torque real / torque nominal do motor elétrico pode ser calculada pela equação abaixo (WEG, 2004).

$$f_r = 0,34$$

$$\frac{T}{T_n} = 0,74 \times f_r + 0,47 \rightarrow 0,74 \times 0,34 + 0,47$$

$$\frac{T}{T_n} = 0,72$$

Seguem abaixo os demais cálculos realizados.

$$T_n = 0,21 \text{ kgf.m} = 21 \text{ kgf.cm}$$

$$\text{fator de redução do torque } T/T_n = 0,72$$

$$n_1 = 582 \text{ rpm}$$

$$n_3 = 60 \text{ rpm}$$

$$T_r = T_n \times \text{fator de redução do torque } T/T_n \rightarrow 21 \text{ kgf.cm} \times 0,72$$

$$T_r = 15,1 \text{ kgf.cm}$$

$$Mt_1 = 71620 \cdot \frac{P_1}{n_1} \rightarrow P_1 = \frac{Mt_1 \cdot n_1}{71620} \rightarrow P_1 = \frac{15,1 \text{ kgf.cm} \cdot 582 \text{ rpm}}{71620}$$

$$P_1 = 0,1227 \text{ CV}$$

$$P_2 = P_1 \cdot 97\% \rightarrow P_2 = 0,1227 \text{ CV} \cdot 0,97 \rightarrow P_2 = 0,119 \text{ CV}$$

$$P_3 = P_2 \cdot 97\% \rightarrow P_3 = 0,119 \text{ CV} \cdot 0,97 \rightarrow P_3 = 0,115 \text{ CV}$$

$$Mt_3 = 71620 \cdot \frac{P_3}{n_3} \rightarrow Mt_3 = 71620 \cdot \frac{P_3}{n_3} \rightarrow Mt_3 = 71620 \cdot \frac{0,115 \text{ CV}}{60 \text{ rpm}}$$

$$Mt_3 = 137,3 \text{ kgf.cm}$$

Verifica-se que o torque no eixo do rolo de tração, nas condições citadas acima é igual a aproximadamente 137 kgf.cm. Esse valor é superior ao torque mínimo de 78 kgf.cm estipulado no projeto.

Conforme os dados obtidos nas análises acima, verifica-se que o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora está dimensionado corretamente, pois atende aos requisitos solicitados no projeto. Parametrizando o inversor de frequência para fornecer frequências entre 6 Hz e 20,5 Hz ao motor elétrico, as velocidades de rotação da esteira transportadora irão variar entre 17,5 rpm e 60 rpm. Nestas condições, o torque no rolo de tração varia aproximadamente entre 82 kgf.cm e 137 kgf.cm, ou seja, acima do limite mínimo estipulado de 78 kgf.cm.

A partir dos dados acima, selecionou-se um motor elétrico pelo critério da carga mecânica que ele irá acionar (FILIPPO FILHO, 2000). Selecionou-se um motor elétrico de indução com 4 pólos e potência de 0,5 CV, com frequência nominal de 60 Hz. Esse motor possui as mesmas características técnicas do motor utilizado no sistema atual de transmissão de movimento da esteira transportadora, porém, optou-se por alterar o tamanho da carcaça deste motor elétrico. Conforme Filippo Filho (2000), essa é uma das possíveis soluções para evitar o superaquecimento do motor elétrico quando este trabalha em baixas velocidades de rotação.

Para o novo sistema de transmissão de movimento dimensionado deverá ser utilizado um inversor de frequência vetorial, ao invés do inversor de frequência escalar utilizado atualmente. Essa alteração se faz necessária para garantir as características de torque quando o motor elétrico opera em baixas rotações (WEG,

2004). Utilizando o critério de dimensionamento de acordo com a potência do motor elétrico (WEG, 2004), selecionou-se um inversor de frequência para potência de 0,5 CV.

3.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO NOVO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA

Após a confirmação da viabilidade técnica da alteração no sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404, foi elaborado um estudo sobre a viabilidade econômica deste projeto. Para verificar se o objetivo do projeto, que é dimensionar um sistema de transmissão de movimento com custo inferior ao custo do sistema atual foi atingido, comparou-se o custo do sistema atual de transmissão de movimento com o custo do sistema novo proposto.

3.5.1 Custo do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora

Para determinar o custo do sistema atual de transmissão de movimento da esteira transportadora, verificou-se individualmente o custo das peças que compõem esse conjunto. A Figura 18 apresenta as peças que compõem o atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora.

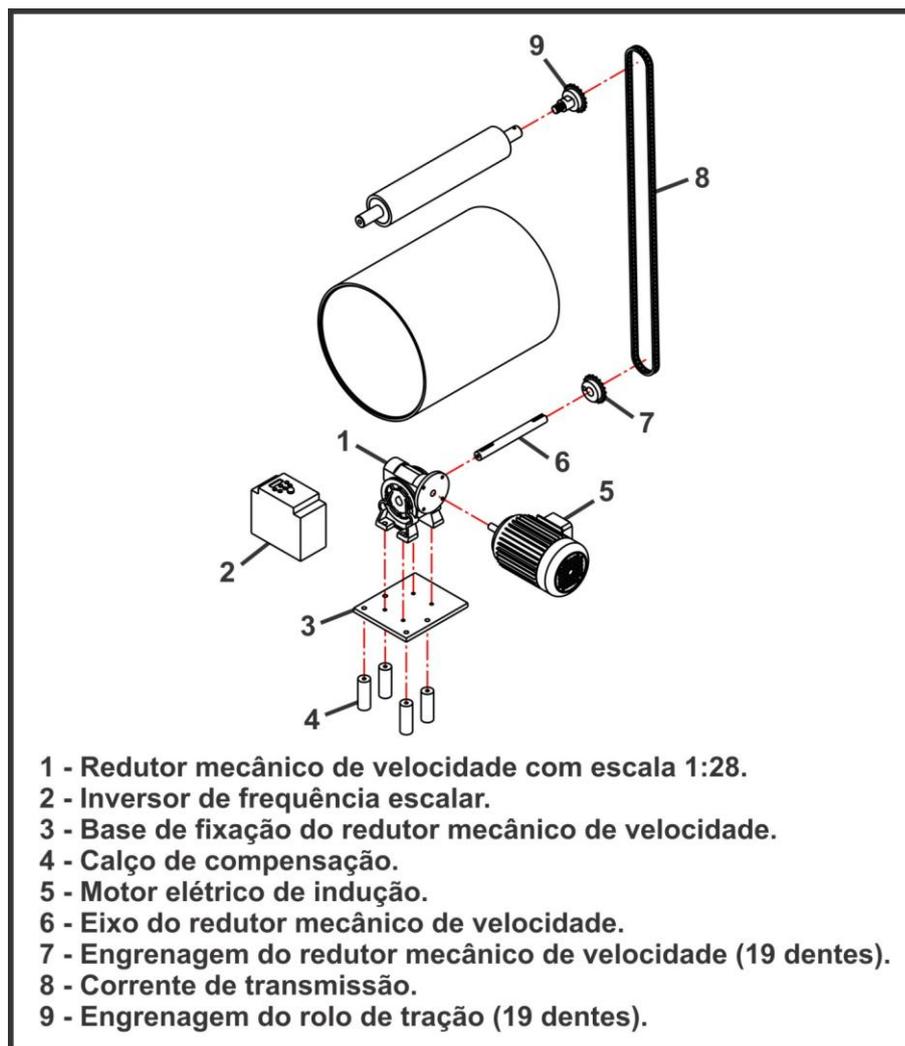


Figura 18 – Representação do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora
 Fonte: Próprio autor, 2012

A Tabela 5 apresenta o custo aproximado de cada uma das peças do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404. Os custos apresentados nesta tabela são os preços pagos atualmente por cada uma das peças.

Tabela 5 – Custo das peças do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora

Descrição	Quantidade	Custo unitário
Redutor mecânico de velocidade com escala 1:28	1	R\$ 330,00
Inversor de frequência escalar	1	R\$ 340,00
Base de fixação do redutor mecânico de velocidade	1	R\$ 15,00
Calço de compensação	4	R\$ 5,00
Motor elétrico de indução	1	R\$ 250,00
Eixo do redutor mecânico de velocidade	1	R\$ 25,00
Engrenagem do redutor mecânico de velocidade (19 dentes)	1	R\$ 20,00
Corrente de transmissão (passo 3/8")	1	R\$ 15,00
Engrenagem do rolo de tração (19 dentes)	1	R\$ 25,00
Conjunto esticador da corrente	1	R\$ 20,00
Custo total		R\$ 1.060,00

Fonte: ERPS, 2012.

Analisando os dados da Tabela 5, verifica-se que o custo aproximado do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora é de R\$ 1.060,00. Ressalta-se que o custo do rolo de tração e do rolo de aço aquecido não foram acrescentados nesta tabela pois estas peças não serão alteradas, ou seja, as mesmas peças serão utilizadas no sistema novo de transmissão de movimento da esteira transportadora.

3.5.2 Custo do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora

Para determinar o custo do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora, separou as peças deste conjunto em dois grupos: peças fabricadas e componentes padronizados. Para cada peça fabricada, elaborou-se um desenho em um *software* de CAD 3D, contendo todas as informações técnicas necessárias para a fabricação destas peças. Para evitar a reprodução dimensional das peças, estes desenhos não serão apresentados neste trabalho. O orçamento do custo de fabricação para cada uma das peças fabricadas do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora foi realizado a partir destes desenhos técnicos. Os componentes padronizados selecionados para o novo sistema dimensionado foram orçados diretamente com cada fabricante ou

fornecedor. A Figura 19 apresenta o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora.

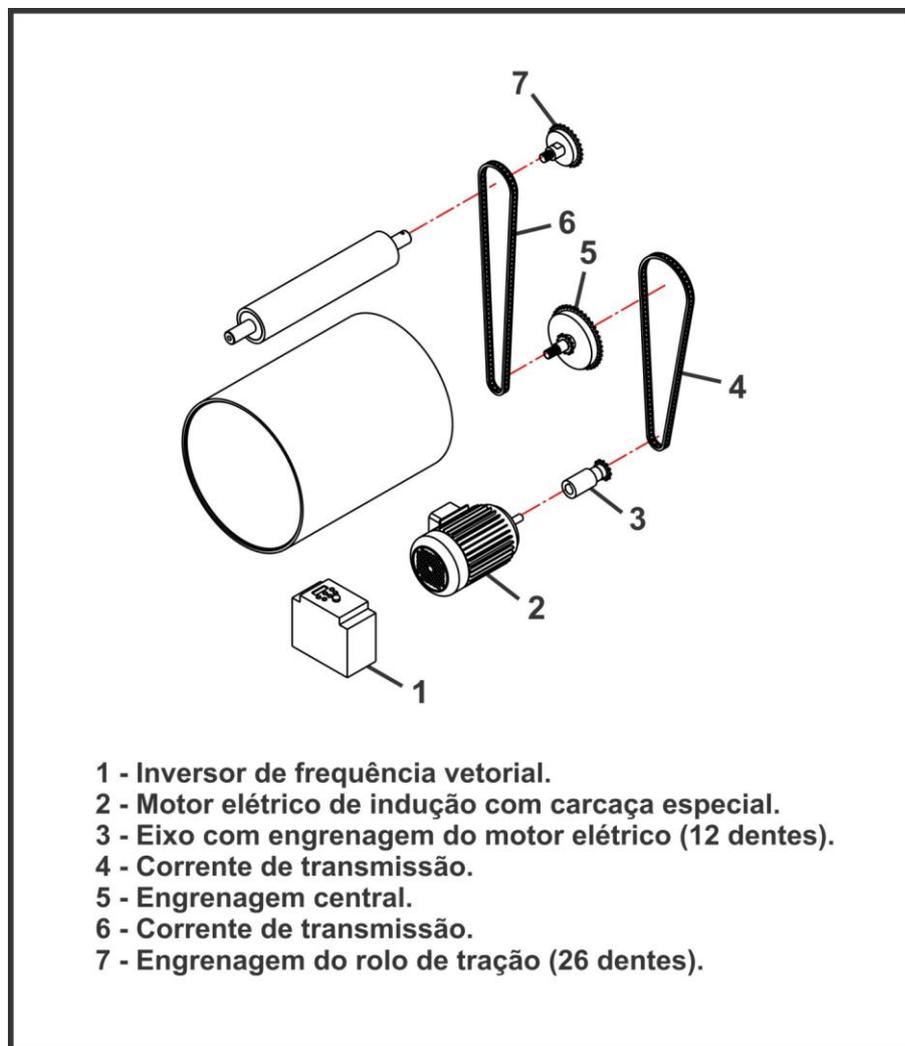


Figura 19 – Representação do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora

Fonte: Próprio autor, 2012

Baseado nos orçamentos realizados elaborou-se a Tabela 6, contendo o custo de cada peça do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora.

Tabela 6 – Custo das peças que compõem o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora

Descrição	Quantidade	Custo unitário
Inversor de frequência vetorial	1	R\$ 320,00
Motor elétrico de indução com carcaça especial	1	R\$ 340,00
Eixo com engrenagem do motor elétrico (12 dentes)	1	R\$ 30,00
Corrente de transmissão	2	R\$ 10,00
Engrenagem central	1	R\$ 70,00
Engrenagem do rolo de tração (26 dentes)	1	R\$ 30,00
Conjunto de rolamentos da engrenagem central	1	R\$ 20,00
Conjunto esticador da corrente	2	R\$ 20,00
Custo total		R\$ 870,00

Fonte: Próprio autor, 2012.

Analisando os dados da Tabela 6, observa-se que o custo do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora é de R\$ 870,00. Em comparação com o custo do sistema atual, observa-se uma redução em torno de 18% (R\$ 190,00). Portanto, o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora é viável economicamente, pois atende ao objetivo deste trabalho que é reduzir o custo do sistema atual. Como são comercializadas aproximadamente 15 máquinas deste modelo por ano (ERPS, 2012), esta alteração no sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora irá gerar uma redução de custo anual em torno de R\$ 2850,00.

Ressalta-se que, o tempo necessário para a montagem dos dois sistemas é semelhante e por isso, o custo da mão de obra para a montagem não foi apresentado nos cálculos.

3.6 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO E APROVAÇÃO TÉCNICA

Após a confirmação da viabilidade técnica e econômica do projeto, fabricou-se um protótipo do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404. Este protótipo foi fabricado com o objetivo de verificar a qualidade do processo de entretelar proporcionado pelo novo sistema.

Criou-se uma referência numérica e um cadastro no sistema de gerenciamento da Indústria de Máquinas ERPS para cada peça deste conjunto. Logo após, elaborou-se uma lista com as peças e componentes necessários para a montagem do protótipo e os desenhos técnicos das peças elaborados anteriormente foram encaminhados para a produção.

Com as peças e os componentes a disposição, o setor de montagem da empresa realizou a montagem do protótipo sem grandes dificuldades de montagem ou alterações significativas. Uma das poucas alterações realizadas em relação ao projeto inicial foi o acréscimo de um rebaixo “chato” no eixo da engrenagem central, para que este eixo possa ser travado com a utilização de uma chave de boca, facilitando assim a montagem desta peça.

A Figura 20 apresenta o protótipo do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404.



Figura 20 - Protótipo do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404

Fonte: ERPS, 2012

Após o término da montagem do protótipo, foram realizados os testes para a aprovação técnica do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora. Inicialmente foram realizados testes internos, com a utilização de

diversos tipos e espessuras de materiais, obtendo-se nestes testes excelente qualidade no processo de entretelar.

Escolheu-se então, por critério de localização, afinidade e utilização do processo de entretelar, uma empresa para colocar a máquina com o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora para testes em campo. O protótipo ficou em teste nesta empresa por cerca de 20 dias e durante este período, o novo sistema não apresentou problemas.

Baseado nos bons resultados apresentados no período de testes, o novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 foi aprovado tecnicamente e passou a ser utilizado em um dos modelos de máquina para entretelar fabricado pela Indústria de Máquinas ERPS. Porém, a primeira máquina em que foi utilizado o novo sistema de transmissão de movimento será monitorada pelo período de 6 meses, e após este período, o novo conjunto dimensionado será desmontado e as peças que o compõem serão analisadas a fim de verificar o desgaste das peças após 6 meses de trabalho.

CONCLUSÃO

Com a concorrência cada vez mais acirrada, qualquer diferença de custo pode ser fundamental no momento da venda de um produto ou serviço, e esta vantagem competitiva pode ser adquirida através de projetos enxutos e dimensionados corretamente.

O objetivo geral deste trabalho, que é dimensionar, produzir e aprovar tecnicamente um sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404, com custo inferior ao custo do sistema atual, mantendo-se todas as características técnicas desta máquina, foi atingido através da realização dos objetivos específicos propostos.

Em relação à situação problema analisada neste trabalho, observa-se que foi possível reduzir o custo da máquina para entretelar modelo WSK 404, produzida pela Indústria de Máquinas ERPS, mantendo-se todas as suas características técnicas.

A realização da pesquisa bibliográfica foi fundamental para aprofundar os conhecimentos sobre alguns assuntos específicos, como por exemplo, inversores de frequência e motores elétricos. Através desta pesquisa, obteve-se o embasamento necessário para o dimensionamento correto do novo sistema de transmissão de movimento proposto.

Após a realização da pesquisa bibliográfica, analisou-se o custo do atual sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora com o objetivo de verificar quais alterações poderiam gerar uma redução de custo significativa. Através desta análise, verificou-se que, para obter uma redução significativa, seria necessária a alteração de um dos seguintes itens: inversor de frequência escalar, redutor mecânico de velocidade ou motor elétrico.

A partir desta análise, propôs-se um novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404 sem a utilização do redutor mecânico de velocidade. Este sistema foi dimensionado através do embasamento teórico obtido pela pesquisa bibliográfica realizada, levando-se em consideração as características técnicas desta máquina.

Inicialmente identificou-se a faixa de variação de velocidade da esteira transportadora e o torque necessário para movimentar esta esteira, a fim de definir

quais os requisitos técnicos mínimos que o novo sistema de transmissão de movimento deveria possuir.

Utilizando os requisitos técnicos mínimos definidos, foi dimensionado um sistema de transmissão de movimento em dois estágios. Nesta etapa, foram especificados também os valores mínimo e máximo que deveriam ser parametrizados no inversor de frequência para que este fornecesse a faixa de variação de velocidade estipulada para a esteira transportadora.

O último passo do dimensionamento técnico do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora foi verificar se o torque fornecido pelo sistema dimensionado seria capaz de realizar o movimento da esteira transportadora.

Após o dimensionamento das características técnicas do novo sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora, realizou-se a verificação da viabilidade econômica do projeto. Através do levantamento dos custos das peças do novo sistema de transmissão proposto, observou-se que, além de manter as mesmas características técnicas da máquina, o custo deste novo sistema é 18 % (R\$ 190,00) inferior em comparação com o sistema atual.

Logo após a confirmação da viabilidade técnica e econômica do novo sistema de transmissão de movimento, produziu-se um protótipo que foi aprovado tecnicamente através de testes práticos.

A realização deste trabalho proporcionou o aprofundamento dos conhecimentos sobre dimensionamento e sobre o correto uso dos equipamentos modernos, para que todos os recursos oferecidos por estes possam ser usufruídos completamente. Além disso, foi possível a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de engenharia industrial mecânica para a resolução de um problema real.

Além do estudo de caso apresentado neste trabalho, realizaram-se diversas alterações na máquina modelo WSK 404, como por exemplo, a alteração da forma de fabricação da estrutura e do conjunto da escova de carvão. Mesmo com todas as alterações realizadas, o preço de venda desta máquina ainda ficou superior ao preço de venda oferecido pela concorrência, porém, a redução de custo obtida, proporcionou o retorno da competitividade comercial desta máquina.

A principal dificuldade encontrada para a realização do trabalho foi a falta de referencial teórico sobre alguns assuntos, como por exemplo, inversores de

frequência, porém, esta dificuldade foi sanada através da pesquisa em catálogos técnicos e folders dos fabricantes destes itens.

Outra dificuldade encontrada foi o período de tempo reduzido para a elaboração deste trabalho, fato que inviabilizou a análise de outras alternativas de alteração no sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404.

Ressalta-se que o projeto desenvolvido não esgota as possibilidades de alterações no sistema de transmissão de movimento da esteira transportadora da máquina para entretelar modelo WSK 404. Como trabalhos futuros, propõem-se a análise de outras alternativas ao sistema desenvolvido, como por exemplo, a utilização de um motor elétrico de indução com 8 pólos, que possibilitaria um sistema de transmissão de movimento mais simples, porém, uma das possíveis dificuldades apresentadas por esta opção é a sua viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

ABB. **Catálogo de Inversores de Frequência**. Disponível em: <www.abb.com.br>, acessado em: setembro de 2012.

ANTUNES, Izildo; FREIRE, Marcos A. C. **Elementos de máquinas**. 1. ed. São Paulo, SP: Érica, 1997. 296 p.

CEC. **Engrenagens para corrente passo 9,525 mm**. Disponível em: <www.casadasengrenagens.com.br>, acessado em: setembro de 2012.

DIGEL. **Inversores de frequência**. Disponível em: <www.digel.com.br>, acessado em: setembro de 2012.

ERPS. Disponível em: <www.erps.com.br>, acessado em: agosto de 2012.

ERPS. **Indústria de Máquinas ERPS Ltda**. Disponível em: <intranet da ERPS>, acessado em: agosto de 2012.

FAATESP. **Inversores de frequência**. Disponível em: <http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/inversores_de_frequencia.pdf>, acessado em: setembro de 2012.

FILIPPO FILHO, Guilherme. **Motor de indução**. 1. ed. São Paulo, SP: Érica, 2000. 243 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2010. 184 p.

KEELLING, Ralph. **Gestão de projetos: uma abordagem global**. 1. ed. São Paulo, SP: Saraiva, 2008. 293 p.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2011. 314 p.

NBR ISO 10006. **Gestão da qualidade - Diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

PMBOK, Guia / Project Management Institute. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. 4. ed. New York, EUA: Project Management Institute, 2008. 459 p.

PORTER, Michael E. **Vantagem Competitiva**. 11. ed. Rio de Janeiro, RJ: Campus Ltda, 1998. 512p.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2009. 288 p.

SEW. **Manual de seleção de acionamentos: Métodos de cálculo e exemplos**. 9. ed. Guarulhos, SP: 2007. 156 p.

SIMONE, Gilio Aluisio; CREPPE, Renato Crivellari. **Conversão eletromecânica de energia**. 1. ed. São Paulo, SP: Érica, 2010. 324 p.

TORO, Vincent del. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 1999. 550 p.

VARGAS, Ricardo Viana. **Gerenciamento de projetos: Estabelecendo diferenciais competitivos**. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: Brasport, 2009. 236p.

VOGES. **Catálogo de motores elétricos**. Disponível em: <www.voges.com.br>, acessado em: setembro de 2012.

WEG. **Catálogo de inversores de frequência**. Disponível em: <www.weg.net>, acessado em: setembro de 2012.

WEG. **Catálogo de motores elétricos**. Disponível em: <www.weg.net>, acessado em: setembro de 2012.

WEG. **Guia de aplicação de inversores de frequência**. 2. ed. Jaraguá do Sul, SC: 2004. 192 p.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2009. 248p.

ANEXO A – Dados técnicos dos motores elétricos de indução com 4 pólos

4 POLOS		POTÊNCIA		CARCAÇA		ROTAÇÃO		CORRENTE 380V		CONJUGADO			RENDIMENTO			FATOR POTÊNCIA (cos φ)			FS	GD ² (kgm ²)	MASSA (kg)
cv	kW			ln (A)	Ip (A)	Cn (kgm)	Cp/Cn (%)	Cm/Cn (%)	50%	75%	100%	50%	75%	100%	50%	75%	100%				
1/8	0,09	56a	1650	0,45	1,4	0,05	280	330	40,0	49,5	55,0	0,45	0,51	0,56	1,15	0,0007	3,3				
1/6	0,12	56b	1640	0,46	1,4	0,07	265	235	46,5	55,0	60,0	0,54	0,61	0,68	1,15	0,0007	3,3				
1/4	0,18	63a	1695	0,64	2,6	0,1	245	260	53,0	60,0	64,0	0,47	0,59	0,68	1,15	0,0014	4,8				
1/3	0,25	63b	1680	0,83	3,6	0,15	300	285	53,0	61,0	65,0	0,47	0,59	0,69	1,15	0,0014	4,8				
1/2	0,37	71a	1700	1,11	5,5	0,21	225	245	62,0	68,5	71,0	0,49	0,61	0,71	1,15	0,0041	9,6				
3/4	0,55	71b	1680	1,66	8,0	0,32	265	265	68,0	71,5	72,0	0,50	0,62	0,70	1,15	0,0041	9,6				
1	0,75	80a	1730	1,65	11,2	0,42	310	320	75,0	80,0	80,5	0,63	0,75	0,84	1,15	0,0099	15,50				
1,5	1,1	80b	1725	2,43	15,1	0,63	270	300	79,0	81,5	82,0	0,62	0,77	0,84	1,15	0,0109	16,00				
2	1,5	90S	1740	3,50	27,0	0,83	300	310	77,0	83,0	84,0	0,52	0,67	0,76	1,15	0,0208	22,20				
3	2,2	90L	1720	5,10	36,7	1,25	300	310	81,8	84,5	85,0	0,58	0,70	0,77	1,15	0,0250	24,30				
4	3	100La	1740	6,30	50,4	1,65	310	310	83,0	85,7	86,3	0,62	0,74	0,82	1,15	0,0299	34,00				
5	3,7	100L	1730	7,80	56,1	2,10	280	300	84,5	87,0	87,5	0,63	0,74	0,82	1,15	0,0340	36,00				
6	4,5	112Ma	1750	9,82	78,7	2,46	280	300	86,5	88,0	88,5	0,56	0,70	0,77	1,15	0,0649	42,00				
7,5	5,5	112M	1745	11,5	88,6	3,10	295	300	87,7	89,0	89,5	0,61	0,74	0,81	1,15	0,0700	45,00				
10	7,5	132S	1760	14,5	125	4,10	300	310	90,0	90,8	91,0	0,71	0,80	0,84	1,15	0,1640	66,00				
12,5	9,2	132Ma	1760	17,9	151	5,10	300	310	90,0	91,0	91,4	0,68	0,79	0,85	1,15	0,1710	69,00				
15	11	132M	1765	21,0	177	6,10	310	310	90,9	91,3	91,7	0,75	0,84	0,87	1,15	0,2300	74,00				
20	15	160M	1765	28,4	242	8,20	300	310	91,0	92,1	92,4	0,72	0,82	0,85	1,15	0,3869	121,00				
25	18,5	160L	1755	34,6	277	10,20	300	310	92,2	92,4	92,4	0,76	0,84	0,87	1,15	0,4869	143,00				
30	22	180M	1765	42,8	385	12,20	270	300	91,6	92,2	92,4	0,73	0,82	0,85	1,15	0,7350	169,00				
40	30	200M	1780	57,3	459	16,20	250	260	91,9	92,9	93,0	0,76	0,82	0,84	1,15	1,2989	270,00				
50	37	200L	1775	70,4	563	20,00	270	280	92,0	92,7	93,0	0,76	0,83	0,85	1,15	1,299	271,00				
60	45	225S/M	1780	82,0	656	24,00	220	200	92,4	93,5	93,8	0,76	0,84	0,87	1,15	1,700	301,00				
75	55	225S/M	1775	103,0	876	30,00	250	260	92,4	93,6	94,1	0,75	0,83	0,86	1,15	2,2899	376,00				
100	75	250S/M	1775	134,0	1105	40,00	240	250	92,7	94,0	94,5	0,81	0,86	0,88	1,15	4,1999	562,00				
125	90	280S/M	1775	167,4	1239	50,00	230	240	92,5	94,0	95,0	0,81	0,86	0,88	1,15	6,5399	706,00				
150	110	280S/M	1775	198,0	1465	60,00	250	260	92,5	94,0	95,0	0,85	0,89	0,89	1,15	8,3500	821,00				
175	132	315S/M	1780	233,0	1864	70,00	230	230	93,2	94,7	95,0	0,78	0,85	0,88	1,15	12,5	1037,00				
200	150	315S/M	1780	265,0	2040	80,00	250	250	93,6	94,9	95,3	0,78	0,85	0,88	1,15	13,8000	1090,00				
250	185	315S/M	1780	325,0	2470	100,00	270	300	94,0	95,1	95,5	0,81	0,88	0,90	1,15	15,6000	1100,00				
300	220	355M/L	1780	398,0	2786	120	210	200	94,5	95,2	95,6	0,84	0,87	0,88	1,0	16,000	1300				
350	255	355M/L	1785	456,0	3876	140	220	210	94,8	95,5	95,7	0,85	0,88	0,89	1,0	19,000	1370				
400	285	355M/L	1790	524,0	4190	160	210	200	95,0	95,7	95,9	0,85	0,88	0,89	1,0	21,500	1454				
450	330	355M/L/J	1790	589,0	4594	180	215	205	95,1	95,8	96,0	0,86	0,88	0,89	1,0	24,000	1545				
500	370	355M/L/J	1790	654,0	5101	200	220	200	95,3	95,9	96,1	0,86	0,88	0,89	1,0	27,000	1630				

Fonte: VOGES, 2012

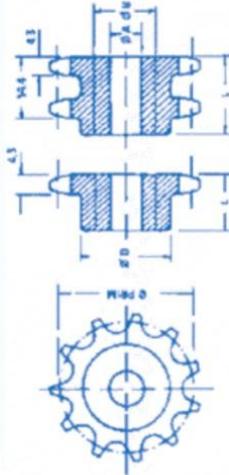
ANEXO B – Tabela de engrenagens para corrente passo 9,525 mm

ENGRENAGENS PARA CORRENTE PASSO 9,525 mm

Z	Ø Prim.	SIMPLES					DUPLA						
		Ref.	A	B	D	L	Tipos	Ref.	A	B	D	L	Tipos
009	27,85	1.35.09	SF	11	17	16	1,2,3	2.35.09	SF	11	17	22	1,2,3
010	30,82	1.35.10	SF	13	20	16	1,2,3	2.35.10	SF	13	20	22	1,2,3
011	33,81	1.35.11	SF	15	23	16	1,2,3	2.35.11	SF	15	23	22	1,2,3
012	36,80	1.35.12	12	17	26	16	1,2,3	2.35.12	12	17	26	22	1,2,3
013	39,80	1.35.13	12	19	29	16	1,2,3	2.35.13	12	19	29	22	1,2,3
014	42,81	1.35.14	12	21	32	16	1,2,3	2.35.14	12	21	32	22	1,2,3
015	45,81	1.35.15	12	23	35	20	1,2,3	2.35.15	12	23	35	25	1,2,3
016	48,82	1.35.16	12	25	38	20	1,2,3	2.35.16	12	25	38	25	1,2,3
017	51,84	1.35.17	12	27	41	20	1,2,3	2.35.17	12	27	41	25	1,2,3
018	54,85	1.35.18	12	29	44	20	1,2,3	2.35.18	12	29	44	25	1,2,3
019	57,87	1.35.19	12	31	47	22	1,2,3	2.35.19	12	31	47	25	1,2,3
020	60,89	1.35.20	12	33	50	22	1,2,3	2.35.20	12	33	50	25	1,2,3
021	63,91	1.35.21	12	35	53	22	1,2,3	2.35.21	12	35	53	25	1,2,3
022	66,93	1.35.22	12	37	56	22	1,2,3	2.35.22	12	37	56	25	1,2,3
023	69,95	1.35.23	12	39	59	22	1,2,3	2.35.23	12	39	59	25	1,2,3
024	72,97	1.35.24	15	41	62	22	1,2,3	2.35.24	15	41	62	25	1,2,3
025	76,00	1.35.25	15	43	65	22	1,2,3	2.35.25	15	43	65	25	1,2,3
026	79,02	1.35.26	15	45	68	22	1,2,3	2.35.26	15	45	68	25	1,2,3
027	82,05	1.35.27	15	47	70	22	1,2,3	2.35.27	15	47	70	25	1,2,3
028	85,07	1.35.28	15	48	72	22	1,2,3	2.35.28	15	48	72	25	1,2,3
030	91,12	1.35.30	15	52	78	25	1,2,3	2.35.30	15	52	78	30	1,2,3
032	97,18	1.35.32	15	56	84	25	1,2,3	2.35.32	15	56	84	30	1,2,3
035	106,26	1.35.35	15	62	93	25	1,2,3	2.35.35	15	62	93	30	1,2,3
038	115,34	1.35.38	15	69	103	25	1,2,3	2.35.38	15	69	103	30	1,2,3
040	121,40	1.35.40	15	73	110	25	1,2,3	2.35.40	15	73	110	30	1,2,3
045	136,55	1.35.45	20	82	126	25	1,2,3	2.35.45	20	82	126	30	1,2,3
048	145,64	1.35.48	20	87	130	25	1,2,3	2.35.48	20	87	130	30	1,2,3
054	163,82	1.35.54	20	48	72	30	1,4,5	2.35.54	20	48	72	35	1,4,5
057	172,91	1.35.57	20	48	72	30	1,4,5	2.35.57	20	48	72	35	1,4,5
060	182,00	1.35.60	20	57	80	30	1,4,5	2.35.60	20	57	80	35	1,4,5
076	230,49	1.35.76	20	57	80	30	1,4,5	2.35.76	20	57	80	35	1,4,5
095	288,08	1.35.95	20	57	80	30	1,4,5	2.35.95	20	57	80	35	1,4,5
114	345,68	1.35.114	20	65	98	30	1,4,5	2.35.114	20	65	98	35	1,4,5

NORMA ASA

Correntes: ASA 35
Largura interna = 4,78
Diâmetro do rolo = 5,08



NORMA DIN

Correntes: DIN 06B
Largura interna = 5,72
Diâmetro do rolo = 6,35

