

Projeto preliminar de uma máquina de serra de fita automática para corte de placas de madeira¹

Mauricio Rodrigues Policena²

Nilson Luiz Maziero³

Resumo

O presente trabalho trata do processo de corte de chapas planas e propõe proposta uma alternativa de projeto para uma serra de fita CNC com capacidade para o corte reto e curvo de madeira e derivados, polímeros e acrílico. Este estudo objetiva obter o projeto preliminar de uma serra de fita com sistemas automáticos de controle e acionamento. Para o seu desenvolvimento, utilizou-se a metodologia de projeto realizado pelos autores Pahl *et al.* (2005) que é composta de quatro fases chamadas: especificação do projeto, projeto conceitual, anteprojeto e projeto detalhado. O estudo apresenta uma máquina composta, basicamente, por volantes, lâmina de serra, eixos, sistema de torção da lâmina e giro de mesa. Como resultado, o conceito de uma máquina para corte reto e curvo de placas foi obtido.

Palavras-chave: Corte de placas. Serra de fita CNC. Projeto preliminar.

Abstract

The present work addresses the process of cutting flat plates and proposes a design alternative for a CNC band saw with the capacity of cutting straight and curve wood and by-products, polymers and acrylic. This study aims to obtain the preliminary design of a band saw with control and drive automatic systems. For its development, it was used the design methodology by authors Pahl et al. (2005), which is composed of four phases called: design specification, conceptual design, preliminary design and detailed design. The work presents a machine made basically of steering wheels, saw blade, shafts, torsion system, and turntable. As a result, the concept of a machine for cutting straight and curve plates was achieved.

Keywords: Cutting of plates. CNC band saw. Preliminary design.

1 Resumo da dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Projeto e Processos de Fabricação pela Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo, RS, Brasil. A dissertação foi defendida em 05.12.16.

2 Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo. Professor do Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Venâncio Aires, Venâncio Aires, RS. E-mail: mauriciopolicena@ifsul.edu.br

3 Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Santa Catarina, SC, Brasil. Professor do Programa de Pós-Graduação em Projeto e Processos de Fabricação (PPGPPF) da Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo. E-mail: nlm@upf.br

1 Introdução

Com o advento do computador, muitas máquinas de acionamento manual foram automatizadas com o uso do CNC, surgindo, assim, um novo grupo de máquinas para vários setores produtivos. É o caso dos tornos e centros de usinagens, das dobradeiras, máquinas de corte a laser, máquinas de eletroerosão, fresadoras para madeira, dentre outras. Atualmente, ainda há espaço para o desenvolvimento de máquinas com controle numérico computadorizado (CNC). De acordo com Ludwig, Paloschi e Souza (2013), a chegada de tais equipamentos no setor moveleiro ocorreu a partir de 1995; os autores mencionam que em 2011, o setor produziu 1,75% da receita total líquida da indústria de transformação brasileira, o que corresponde a R\$ 35,1 bilhões.

Chapas planas de materiais como madeira, acrílico e polímeros são utilizadas em diversos setores. O corte das mesmas pode ser realizado por processos como laser, com o uso de serra circular e fresas; essas máquinas, porém, apresentam algumas limitações. A serra circular permite apenas o corte em linha reta da borda da peça e gera grande quantidade de resíduo e significativa perda de material. Essa perda pode ser reduzida no caso de uma fresadora com ferramenta de pequeno diâmetro, no entanto, devido à menor rigidez, aumenta a possibilidade de quebra da mesma. O laser, por sua vez, pode queimar e escurecer as superfícies.

Segundo Johnson (2012), o uso de serras de fita para o corte de peças, a partir de placas, possui grande aplicação. Por serem máquinas de construção mais simples, já disponíveis no mercado, esse tipo de processo permite o corte de peças com contornos diversos. Através do uso de serras de fita, é possível efetuar o corte de peças de grande espessura, o que os outros processos não permitem.

Este trabalho apresenta a proposta para a concepção de uma serra de fita com comando numérico e apresenta as definições dos sistemas funcionais mecânicos envolvidos. Assim podem

ser cortadas peças, a partir de placas que possuem contornos retos e curvos, bem como peças de grande espessura.

1.1 Objetivos e metodologia

O presente trabalho tem como objetivo obter o projeto preliminar de uma serra de fita automática para corte de chapas planas, com a utilização do comando numérico. Para isso, é necessário desenvolver a concepção, determinando funções importantes da máquina, sua cinemática e os conceitos de controle para o seu funcionamento adequado.

As especificações iniciais para orientar o trabalho, exige que a serra deva efetuar cortes retos e curvos de placas de madeira e derivados: acrílico e polímeros. As dimensões da placa são: 1000 mm de comprimento, 600 mm de largura e 30 mm de espessura.

Para nortear o trabalho, é utilizada a metodologia proposta por Pahl *et al.* (2005) que é composta de quatro fases: especificação do produto, projeto conceitual, anteprojeto e projeto detalhado; define os dispositivos envolvidos nas diversas operações, obtendo a forma construtiva e funcional da máquina com as principais especificações.

2 Revisão bibliográfica

Na revisão, são apresentadas sinteticamente a metodologia de projeto, patentes, o que é uma serra de fita convencional e trabalhos de desenvolvimento de protótipos de equipamentos CNC.

Apesar de haver várias metodologias de projeto, como de Back *et al.* (2008), Baxter (2011), este artigo vai se ater a Pahl *et al.* (2005), pois apresentam uma abordagem mais compacta no desenvolvimento de produtos, é focada na área de engenharia e sistemas técnicos, prevalecendo as características de projeto mecânico sobre o gerenciamento do produto e o *design*.

De acordo com Pahl *et al.* (2005), metodologia projetual trata de um procedimento orientado por problemas e que pode ser aplicada em

qualquer área do conhecimento. Através dela, se planeja o trabalho, orientando os gestores de projeto, com indicações concretas de condutas a serem observadas no desenvolvimento de um produto. Sua metodologia reflete a linha de pesquisa alemã na área de projeto de produtos.

Pahl *et al.* (2005) caracterizam a primeira fase pela elaboração da lista de requisitos do produto, contendo aspectos relativos à funcionalidade e ao desempenho do produto, além de prazos e custos. Na segunda fase, faz-se uma abstração, a fim de identificar o problema de projeto, a função global e a estrutura de funções. São propostas variantes de solução que passam para uma avaliação qualitativa. As variantes mais promissoras seguem adiante e são avaliadas quantitativamente.

Na terceira fase da metodologia de Pahl *et al.* (2005), denominada projeto preliminar ou anteprojecto, é definida a configuração da solução, segundo critérios técnicos e econômicos, tendo como base a estrutura de funcionamento. Na quarta fase de Pahl *et al.* (2005), tem-se o detalhamento. É a parte do projeto que tem como objetivo a documentação da estrutura de construção, através de desenhos de componentes individuais ou para fabricação, desenhos de conjuntos, listas de peças, prescrições de produção, montagem e transporte.

De acordo com Johnson (2012), a mais antiga patente registrada para uma serra de fita foi concedida ao inglês William Newberry em 1809. A falta de um método eficaz para juntar as extremidades da lâmina resultou em frequentes fracassos. O autor relata que se passaram quase 40 anos para que a francesa Anne Paulin Crepin desenvolvesse uma técnica, a fim de soldar a lâmina da serra de fita, de modo que a mesma pudesse suportar os esforços de serrar e dobrar em volta dos volantes. A Agência de Patentes dos Estados Unidos (USPTO) possui alguns registros em seu banco de dados, tais como: a patente US 3908723 (UNITED STATE PATENT AND TRADEMARK OFFICE, 1974), serra de fita acionada por teclado numérico; a

patente US 4866630 (UNITED STATE PATENT AND TRADEMARK OFFICE, 1986), serra de fita com alimentação automática; e a patente US 4926728 (UNITED STATE PATENT AND TRADEMARK OFFICE, 1989), na qual toda estrutura se desloca para cortar barras cilíndricas.

Segundo Johnson (2012), o funcionamento e os componentes básicos de uma máquina de fita vertical (figura 1) são: a estrutura (1) que sustenta os componentes; a base (2) que fica apoiada ao solo e auxilia a estrutura; o motor de acionamento (3) que possui um sistema de transmissão compreendido por polias e correias que transmitem movimento até o volante inferior (4), esse é interligado ao volante superior (5), através da lâmina (6); uma porta (7) fecha o compartimento do volante superior e outra porta (8) protege o volante inferior; para esticar a lâmina, tem-se um manípulo (9) que movimenta um sistema com molas e fuso; uma guia regulável (10) ajusta a espessura de corte, protegendo a lâmina (4); sobre a mesa (11) que pode ser fixa ou regulável, é depositada a placa para ser cortada; o equipamento dispõe de um botão de emergência (12), caso ocorra algum imprevisto.

Segundo Fitzpatrick (2013), há nove (9) eixos universalmente utilizados em máquinas CNC. Com movimentos em linha reta, tem-se os 3 eixos lineares primários X, Y, Z. Para cada eixo cartesiano, está associado um eixo de rotação A, B e C (rotacionam em torno dos eixos X, Y e Z, respectivamente). Os eixos U, V e W são auxiliares e paralelos aos lineares. Os sentidos dos eixos são determinados pela regra da mão direita: polegar, o sentido positivo do eixo X; indicador, o eixo Y; e o dedo médio, eixo Z, que para máquinas ferramentas deve ser coincidente com o eixo árvore.

Yan *et al.* (2004) construíram o protótipo de uma micromáquina de eletroerosão a fio, com controle CNC em 2 eixos; Gonçalves (2014) desenvolveu o protótipo de uma impressora 3D com filamento, utilizando uma estrutura de madeira; Silveira (2015) desenvolveu um posicionador cartesiano para um sistema de

impressão 3D, com metodologia de projeto e construção do protótipo. Cherem, Bonacorso e Gesser (2010) desenvolveram o projeto e construíram o protótipo de uma mesa birrotativa modular para ser integrada em uma fresadora CNC TRIAC PC, de 3 eixos. Carvalho, Dutra e Bonacorso (2008) desenvolveram o projeto e a construção de um robô manipulador CNC para soldar tubos de caldeiras. Callegaro, Dias

e Limberguer (2012) desenvolveram um equipamento programado, a fim de realizar os movimentos em pessoas lesionadas no cotovelo e antebraço. Gordon e Hillery (2005) desenvolveram uma router CNC, com deslocamento nos eixos X e Y. Karunakaran *et al.* (2009) adaptaram um centro de usinagem CNC de três eixos para realizar a deposição em camadas, com solda MIG/MAG.

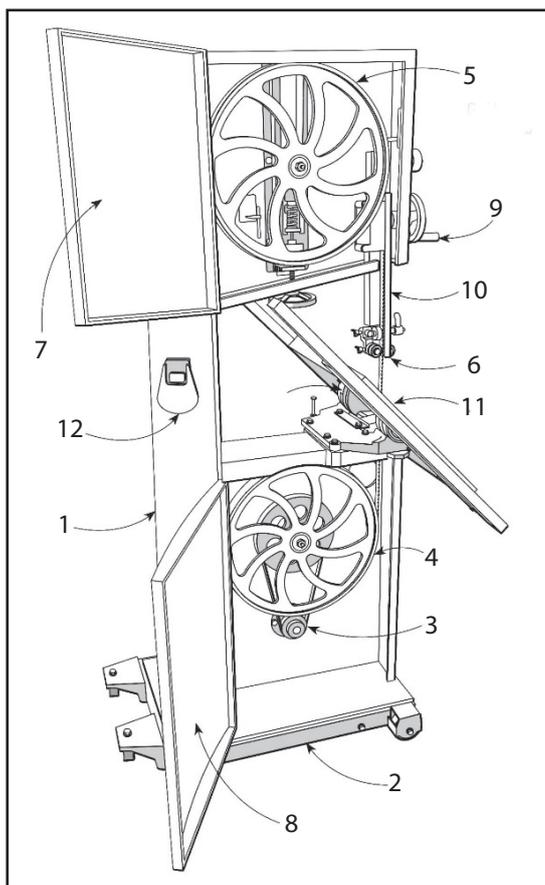


Figura 1 - Componentes de uma máquina de fita vertical
 Fonte: Adaptado de Johnson (2012).

3 Desenvolvimento

O desenvolvimento do trabalho segue as quatro fases da metodologia de projeto de Pahl *et al.* (2005).

3.1 Especificação do projeto (1ª fase)

A primeira fase é caracterizada inicialmente pela especificação do produto, seguindo uma

linha mestra (figura 2), na qual as características do mesmo são elencadas, a fim de atender sua finalidade e suprir as necessidades dos clientes que são: serrar placas de diversos materiais como madeira e derivados, acrílico e polímero; qualidade na região do corte, para que se minimize as operações de acabamento; cortar geometrias retas e curvas, com o uso de lâmina de metal

como ferramenta de corte; possuir comando numérico computadorizado (CNC), para que o operador programe as operações; e oferecer segurança a quem opera o equipamento.

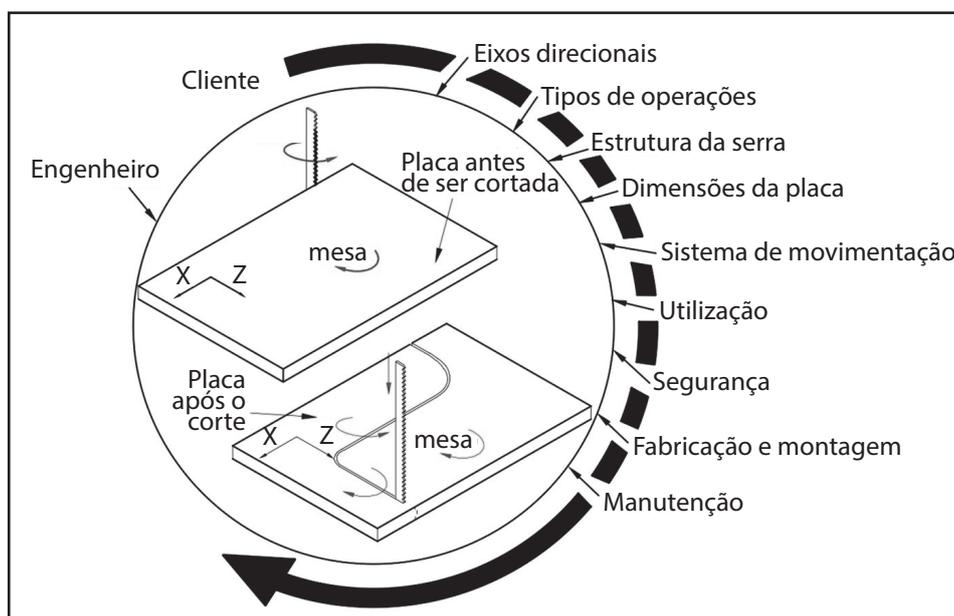


Figura 2 - Linha mestra do projeto
Fonte: Os autores (2016).

Para seguimento do trabalho e, pensando em um equipamento de menor porte, as placas devem possuir até 1000 mm de comprimento, por 600 mm de largura e 30 mm de espessura. O seu maior diferencial é permitir cortes curvos programados. Em relação à largura de corte, buscase o sincronismo dos movimentos nos eixos, para que os dentes e não a lateral da lâmina, ataquem a placa, durante o serramento em curva.

A lista com os requisitos do produto foi elaborada com a preocupação de quanto mais

claras forem as exigências e condições de uso do produto, mais precisa será a solução do problema de projeto. A tabela 1 apresenta a lista de requisitos para a serra de fita automática. Na coluna central, observam-se princípios construtivos norteadores da máquina. A exigência (E) é algo impositivo, ou seja, o requisito precisa ser atendido, enquanto que desejo (D) trata de uma sugestão a ser levada em consideração, quando possível, ambos são apresentados na coluna da esquerda.

Tabela 1 – Lista de requisitos do projeto

Lista de requisitos para a serra de fita CNC			
E/D	Data: 22/12/15	Página: 1/1	Folha: 1/1
Requisitos			Responsável
E	1. Eixos direcionais		Mauricio
E	- Eixos devem estar de acordo com a DIN 66217;		
E	- Movimentos lineares e rotacionais nos eixos.		
E	2. Tipos de operações		Mauricio
E	- Realizar cortes retos e curvos.		
E	3. Estrutura da serra		
D	- Resistir aos esforços da operação;		Mauricio
D	- Considerar força de esticamento da lâmina.		

continua...

...continuação.

E D	4. Dimensões da placa - Serrar placas de até 1000 x 600 x 30 mm de espessura; - Serrar diferentes materiais com qualidade superficial.	Mauricio
E D	5. Sistema de movimentação - Deslocamento nos eixos de forma automática; - Usar motores elétricos.	
E D	6. Utilização - Possuir componentes simples; - Sistema que monitore parâmetros de operação.	
E E E	7. Segurança - Evitar possíveis causas de acidentes; - Estar de acordo com a norma regulamentadora NR 12; - Possuir sistema de exaustão.	
D D D	8. Fabricação e montagem - Montagem do equipamento de forma simples e rápida; - Padronização de peças; - Custos de produção dos componentes compatível.	
D D	9. Manutenção - Peças acessíveis no mercado; - Permitir coleta da serragem.	

Fonte: Os autores (2016).

Na explanação sobre itens da lista de requisitos, tem-se, na figura 3: o sistema de eixos padronizados foi definido pela regra da mão direita. São os eixos direcionais X, Y e Z, com os respectivos movimentos de rotação A, B e C em torno de cada

eixo. Paralelos a eles, tem-se os eixos U, V e W e os movimentos de rotação D, E e F em torno desses eixos. O eixo de rotação B corresponde à torção da lâmina de serra em relação ao eixo Y. O eixo E representa o giro da mesa em torno do eixo V.

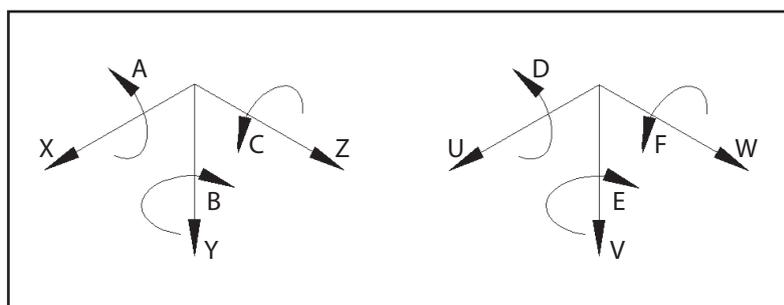


Figura 3 - Eixos direcionais do equipamento
Fonte: Fitzpatrick (2013).

Para que ocorra o corte, a lâmina deve estar assentada sobre volantes. A figura 4 ilustra o corte com movimentos combinados: torção da lâmina e giro da mesa. A lâmina efetua o corte paralelo ao eixo Z e corta em linha reta. Com o giro na lâmina no sentido anti-horário corta a trajetória curva que

pode ser combinado com o giro na mesa que contém a placa (eixo E). A mesa também está se deslocando em ambos os eixos X e Z. Completando a trajetória curva programada, a lâmina segue, cortando em linha reta até sair na face oposta, ao início do corte, que é paralela ao eixo X.

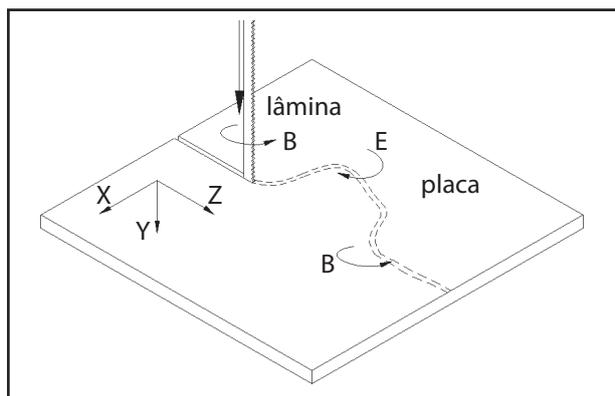


Figura 4 - Corte com giro simultâneo da lâmina e da mesa
Fonte: Fitzpatrick (2013).

No quesito utilização, o equipamento deve possuir interfaces amigáveis, para que o usuário possa operá-lo de forma simples maximizando a produção, para isso é utilizado o comando numérico.

Para fabricação e montagem, a padronização de peças auxilia na montagem, pois diminui tempo, gastos com mão de obra e menores custos na produção dos componentes.

3.2 Projeto conceitual (2ª fase)

No início, utiliza-se a abstração para esclarecimento do problema de projeto, chegando-se

na função global e estrutura de funções. Na abstração, é feita uma análise dos itens da lista de requisitos em relação às condicionantes funcionais. Para isso, são necessárias cinco etapas: suprimir as vontades mentalmente; considerar os requisitos que afetam diretamente as principais funções; converter requisitos quantitativos em qualitativos; ampliar os requisitos do item anterior; e formular o problema de forma neutra em relação à solução.

Formulado o problema, a partir da abstração, é possível apresentar o núcleo da tarefa global e indicar a função global, mediante a utilização de um diagrama de blocos. A inter-relação entre variáveis de entrada e saída orientam a conversão de energia, material e/ou sinal, de forma neutra no caminho de chegar à solução.

A figura 5 ilustra a estrutura de funções que parte do desdobramento da função global para posterior busca dos princípios de solução. As subfunções são funções primárias, pois satisfazem diretamente a função global. Foram elaboradas de acordo com a sequência de serramento de uma placa, em uma serra de fita CNC.

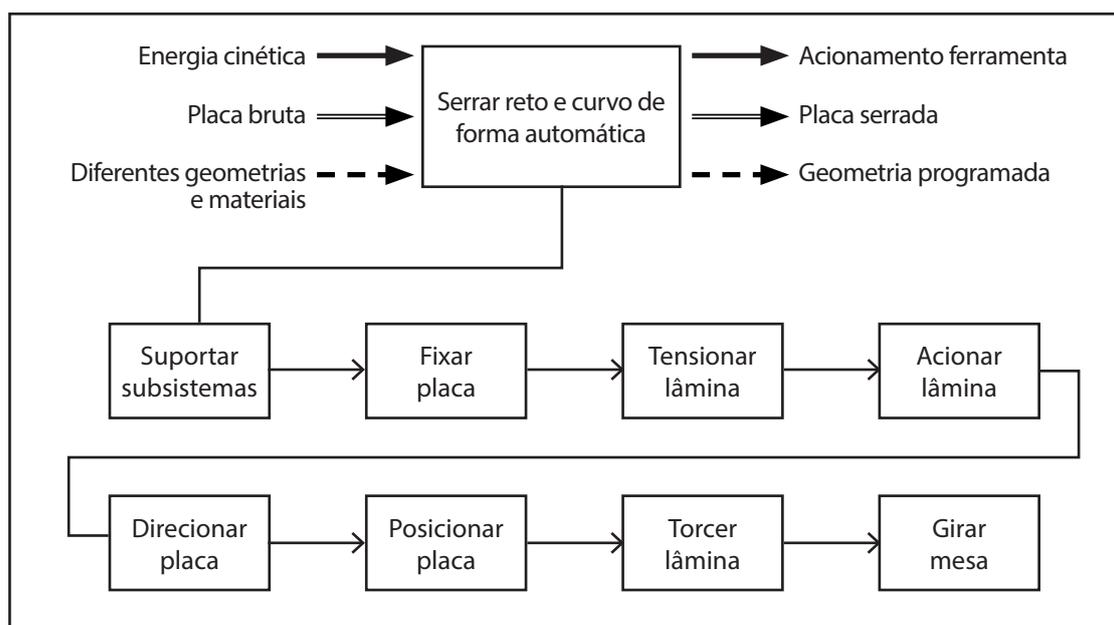


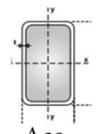
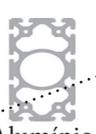
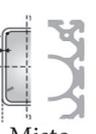
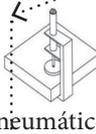
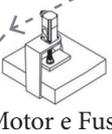
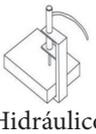
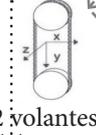
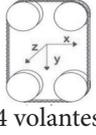
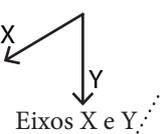
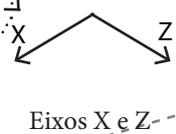
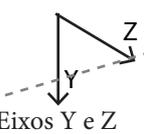
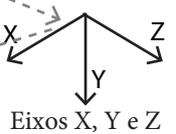
Figura 5 - Desmembramento das funções principais
Fonte: Fitzpatrick (2013).

Elaborada a estrutura de funções, parte-se para a busca por soluções que atendam a função global do projeto. Com o desmembramento das subfunções, são definidos os princípios de funcionamento e estudada a solução mais exequível. Na estruturação dos princípios de funcionamento de cada subfunção, foram pesquisadas de três a cinco opções para atender as necessidades do projeto. As variantes elencadas

tratam possibilidades de funcionamento, tendo em vista aplicações similares e já existentes.

A tabela 2 apresenta a matriz com a apresentação e a combinação das soluções que foram obtidas, a partir da metodologia projetual. Tais escolhas satisfazem alguns quesitos como: são condizentes com a lista de requisitos; facilmente implementadas; atendem aos critérios mínimos de segurança; e são realizáveis.

Tabela 2 – Seleção das possíveis variantes de soluções

Subfunções	Possíveis concepções				
	A	B	C	D	E
1 Suportar sistemas	 Aço	 Alumínio	 Misto		
2 Fixar placa	 Pneumático	 Motor e Fuso	 Hidráulico		
3 Tensionar lâmina	 2 volantes	 3 volantes	 4 volantes		
4 Acionar lâmina	 Motor elétrico e inversor de frequência	 Motor elétrico e redutor	 Motor hidráulico	 Motor pneumático	
5 Direcionar placa	 Eixos X e Y	 Eixos X e Z	 Eixos Y e Z	 Eixos X, Y e Z	
6 Posicionar placa	 Recirculação externa	 Recirculação interna e esférica	 Recirculação interna final		
7 Torcer lâmina	 Engrenagens dentes retos	 Engrenagens cônicas	 Corrente	 4 barras	 Coroa e sem-fim
8 Girar mesa	 Engrenagens dentes retos	 Corrente	 Engrenagens cônicas	 4 barras	 Coroa e sem-fim

Fonte: Os autores (2016).

V1 V2

Para a variante de solução V1, tem-se uma estrutura de construção mista entre perfis de aço e alumínio estrutural, com fixação da placa realizada por ventosas pneumáticas, esticamento da lâmina com dois volantes, acionamento da lâmina com motor elétrico e inversor de frequência, placas sendo direcionadas nos eixos X e Z, posicionamento da placa por servomotor e fuso de esferas com recirculação externa, sistema de torção da lâmina e giro da mesa, executado por servomotor, coroa e parafuso sem fim.

A variante de solução V2 é similar a V1, porém apresenta para fixação da placa um sistema composto por motor e fuso. Possibilita

deslocamento nos três eixos direcionais X, Y e Z. Em relação ao acionamento da lâmina, prevê acionamento com o motor elétrico acoplado a um redutor.

A figura 6 apresenta o esboço da variante de solução V1, composta pela estrutura que sustenta os volantes, na qual a lâmina é tensionada. O acionamento ocorre por um motor elétrico e inversor de frequência. A movimentação se dá ao longo dos eixos X e Z. A fixação da placa é realizada por cilindros pneumáticos. A lâmina é torcida por um sistema com servomotor, parafuso sem fim e coroa. Tal princípio é o mesmo adotado para o giro da mesa.

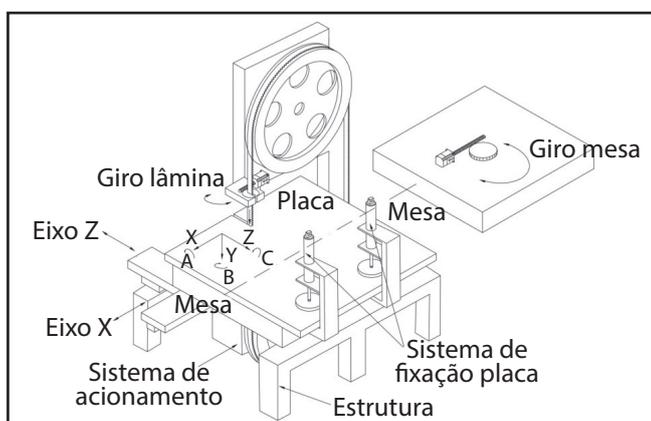


Figura 6 – Esboço da variante de solução V1
Fonte: Os autores (2016).

A figura 7 ilustra a variante de solução V2. O acionamento da lâmina ocorre com motor elétrico e redutor. Já o sistema de movimentação da mesa com a placa ocorre nos 3 eixos: X, Y

e Z. A fixação da placa apresenta um motor e fuso que prensam um suporte contra a placa. A estrutura e os sistemas para torção da lâmina e giro da mesa são idênticos à variante V1.

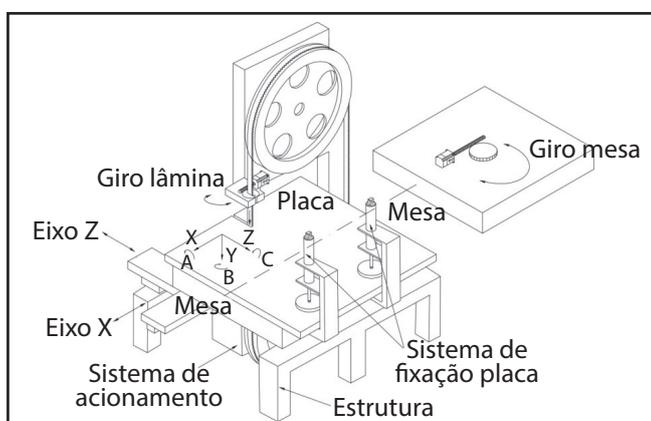


Figura 7 – Esboço da variante de solução V2
Fonte: Os autores (2016).

Utilizando uma avaliação quantitativa, adotado por Pahl *et al.* (2005), a variante V1 possui o maior valor global e, dessa forma, passará adiante na fase de anteprojeto.

3.3 Anteprojeto (3ª fase)

Nessa fase, parte-se da estrutura de funcionamento, subsidiado pela lista de requisitos e corroborado pela estrutura de funções, para se chegar ao anteprojeto do equipamento que foi

elaborado, a partir da variante de solução V1.

A figura 8 ilustra a serra de fita em perspectiva, que é composta pela Interface Homem/Máquina (IHM), com os botões de acionamento, parada, emergência e sinalização. Tem-se as proteções dos volantes, superior e inferior, para evitar acidentes, também há o sistema de esticamento da lâmina, para monitorar a tensão na mesma e corrigi-la durante a operação, e também possui o sistema de giro da mesa, na qual fica situada a placa.

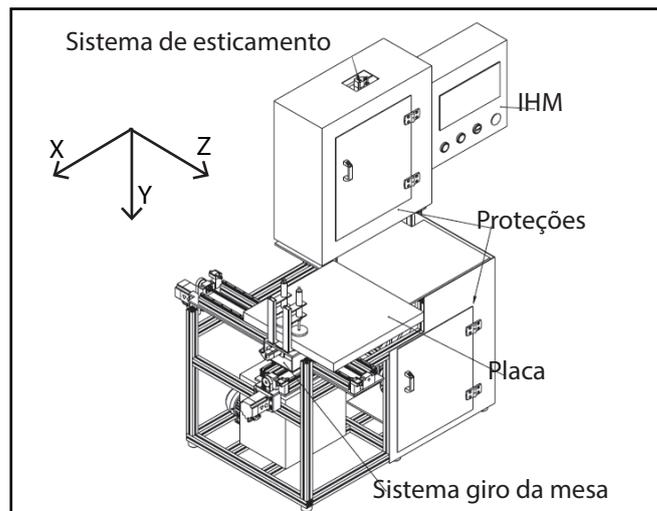


Figura 8 – Perspectiva frente e lateral da serra de fita
Fonte: Os autores (2016).

Na figura 9, tem-se o sistema de eixos. A movimentação da mesa é composta pelos eixos transversal X e longitudinal Z. A placa (86) não muda de altura, portanto os deslocamentos ocorrem em X e Z. Os sistemas são acionados por servomotores (6), com transmissão por polias (8) e correia dentada (9). As mesmas são alojadas na extremidade dos

fusos de esferas (3 e 77) que ficam sustentados por mancais (4) e rolamentos. Todo esse conjunto está apoiado sobre uma chapa metálica (11) que suporta perfis modulares de alumínio (12 e 75), na qual são montados os patins das guias lineares, conferindo precisão ao movimento linear de cada eixo. Sobre o eixo Z está situada a mesa giratória.

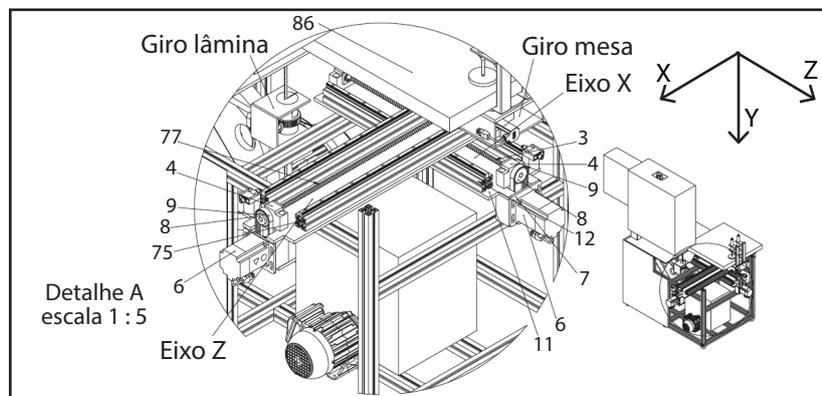


Figura 9 – Eixos da máquina
Fonte: Os autores (2016).

Para que a lâmina não escorregue sobre o volante, dificultando a operação de corte ou interferindo no acabamento da superfície, a máquina terá monitoramento da tensão de esticamento, durante a operação. A figura 10 apresenta o sistema de esticamento; o volante superior foi representado de forma tracejada, a fim de indicar o assentamento da lâmina (30). O monitoramento da tensão pode ser obtido com o uso de uma célula de carga (64) que mede a força na guia regulável (48). Nela está mancalizado o

eixo (46) que sustenta o volante. Tal guia desliza por suportes (55) conectados a uma porca (60), na qual se desloca um fuso (59) que está conectado a um servomotor (52) que é fixado em uma base (44). Todo esse sistema está apoiado sobre uma estrutura (54), em forma de "L", ligada à estrutura da serra de fita. Os valores medidos pela célula de carga são transmitidos para o sistema de controle. Através de um *software* de monitoramento, é feita a análise do valor da força mínima estipulada e são enviados ao servo (52).

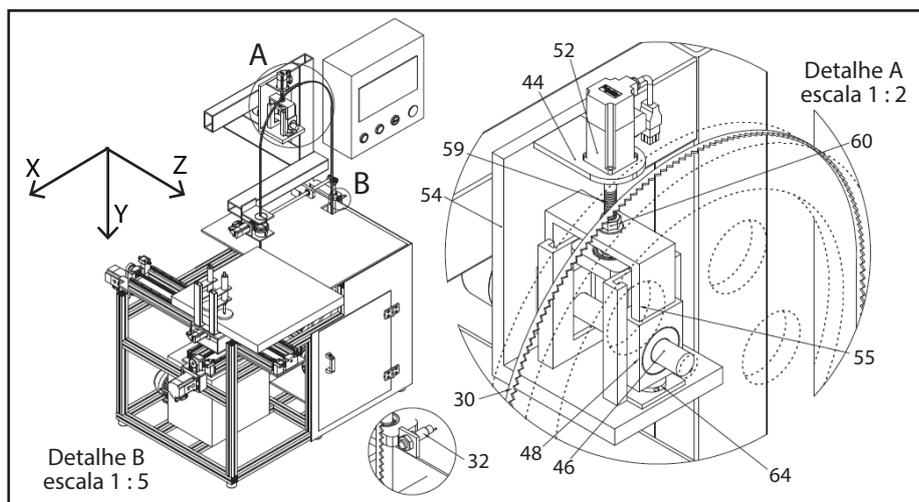


Figura 10 – Sistema de esticamento da lâmina. Medição do deslocamento da lâmina
Fonte: Os autores (2016).

A figura 11 ilustra o sistema de torção da lâmina, algumas peças foram ocultadas para detalhá-lo melhor. A lâmina (30) passa por dentro de uma bucha (89) conectada à tampa superior (ocultada). O sistema de torção é composto por

um servomotor (37), que aciona um parafuso sem fim (38), ligado a uma coroa (36). Ela possui dentes em apenas 180°, conectado a ela há outra bucha (39), com uma fenda no meio por onde passa a lâmina da serra e permite a montagem.

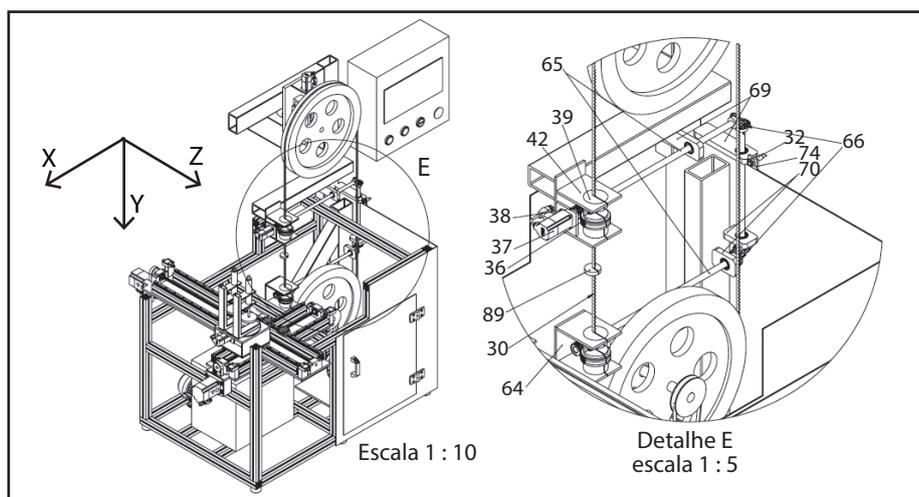


Figura 11 – Sistema de torção da lâmina
Fonte: Os autores (2016).

A interligação dos sistemas responsáveis pelo giro da lâmina é mecânica, com eixos (65) e mancais superiores (69) e inferiores (70). Na extremidade dos eixos (65), encontram-se dois pares de engrenagens cônicas (66). Esse eixo está interligado ao mecanismo inferior (64), possuindo os mesmos componentes, com exceção do servomotor. O sensor (32) que monitora o deslocamento dos dentes da lâmina de serra (30) é preso a um suporte (74).

A figura 12 apresenta o sistema de rotação da mesa (80), compreendido por um servomotor

(90), conectado a um parafuso sem-fim (91), o qual transmite movimento à coroa (92), que é conectada à mesa, através de um eixo (79). Sobre o prato estão os suportes (85) que sustentam os cilindros pneumáticos (62), responsáveis por fixar a placa, que foi ocultada na figura. O prato (81) rotaciona de acordo com o giro da coroa (92), sendo guiado por um rebaixo na tampa superior (83). Na parte inferior da tampa, é mancalizado o rolamento (93). A mesa rotativa está fixada aos patins, que se deslocam nas guias lineares do eixo Z.

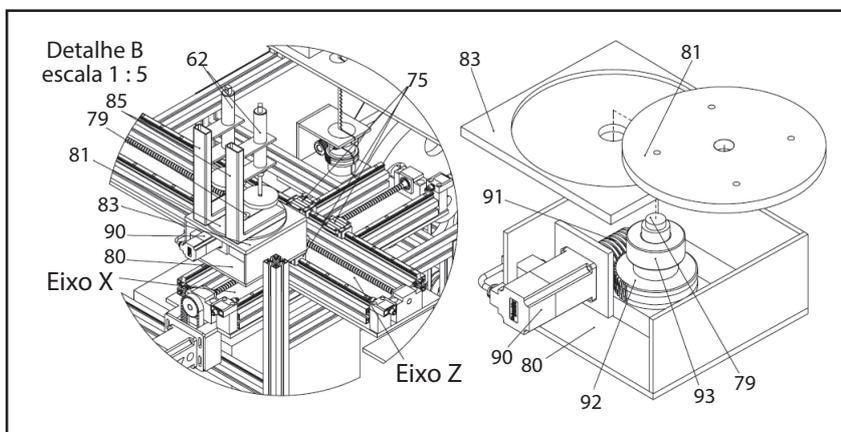


Figura 12 – Sistema de rotação da mesa
Fonte: Os autores (2016).

3.4 Projeto detalhado

O detalhamento compreende a quarta fase da metodologia de Pahl *et al.* (2005). Neste artigo, as dimensões macro da serra de fita automática, perfis da estrutura, descrição de alguns componentes, apresentados na fase de anteprojeto, exemplo de programação para cortar uma placa e o modelamento matemático de forças em eixos e guias.

As principais medidas da serra estão indicadas na figura 13. A estrutura é composta por perfis de alumínio estrutural Prodomus (2016). O material tem formato quadrado com 40 mm de lado. Sua montagem requer fixadores apropriados com parafusos que se encaixam nas cavidades dos perfis.

Para padronização e facilidade na

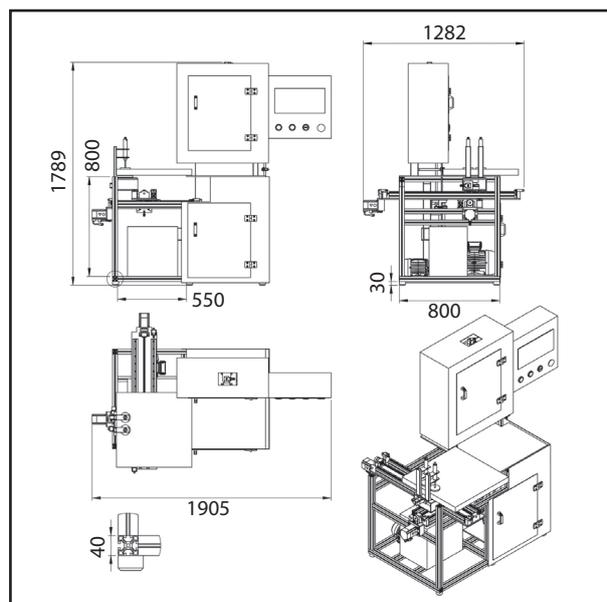


Figura 13 – Vistas e detalhes da serra de fita automática
Fonte: Os autores (2016).

fabricação, os perfis da estrutura foram idealizados com comprimento de 550 mm e 800 mm na altura e largura. Tal fato possibilita que barras de alumínio estrutural sejam cortadas nas medidas referidas, dado acabamento na

região do corte, ficando prontas para uma montagem simples e rápida.

Na tabela 3, tem-se uma lista de materiais com alguns componentes elencados no anteprojeto.

Tabela 3 – Lista de materiais

Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
3	Fuso	Fuso de esferas temperado SAE 4140 com 800 mm de comprimento e 20 mm de diâmetro	1
4	Mancal rolamento	Mancal para rolamento 6205, SAE 1020, 50 x 50 x 20 mm	4
6	Servo motor	Servo Schneider 400 W	6
7	Tampa fixação servo	Suporte fixação servo 100 x 100 x 6,35 mm	4
8	Polia dentada	Polia dentada SAE 1045 com 80 mm de diâmetro	4
9	Correia dentada	Correia de borracha sintética nitrílica hidrogenada	2
12	Perfil base	Alumínio estrutural Prodomus com 40 x 40 x 550 mm	20
30	Lâmina de serra	Lâmina de Serra de Fita Starret Woodpecker 4 dentes/pol, largura de 10 mm, espessura de 0,8 mm e comprimento de 3200 mm	1
32	Sensor	Sensor infravermelho com diâmetro de 18 mm, faixa de detecção de até 800 mm, 5VDC	1
36	Pinhão e coroa	Parafuso sem fim com 2 entradas, rosca retificada e relação de transmissão de 40:1	2
38	Rolamento	Rolamento de esferas 608-2z	16
46	Eixo volante	Eixo para volante SAE 1045, diâmetro 30 mm e 300 mm de comprimento	2
65	Eixo giro lâmina	Eixo SAE 1045, diâmetro 20 mm e 500 mm de comprimento	2
66	Engrenagem cônica	Conjunto de engrenagens cônicas de dentes retos e z=24	2
69	Mancal rolamento	Suporte rolamentos SAE 1020, com 150x50x15 mm (comprimento, largura e altura)	2
75	Perfil Base 1000mm	Alumínio estrutural Prodomus com 40 x 40 x 1000 mm	2
77	Fuso	Fuso de esferas temperado SAE 4140 com 1200 mm e 20 mm de diâmetro	1
79	Eixo	Eixo para caixa de redução SAE 1045, retificado, diâmetro 20 mm e 150 mm de comprimento	1
81	Prato	Aço SAE 1020 com diâmetro de 250 mm e espessura de 6,35 mm	1
83	Guia prato	Tampa caixa redutora SAE 1020, 300x300x10 mm (comprimento, largura e altura)	1

Fonte: Os autores (2016).

Em relação à programação do equipamento, tem-se o exemplo de uma placa com 1000 mm de comprimento e 600 mm de largura. O programa para cortar a placa da figura 14

considera o sistema de torção da lâmina para realizar o corte na trajetória (linha tracejada) definida dos pontos P1 a P6, ambos afastados 50 mm da peça.

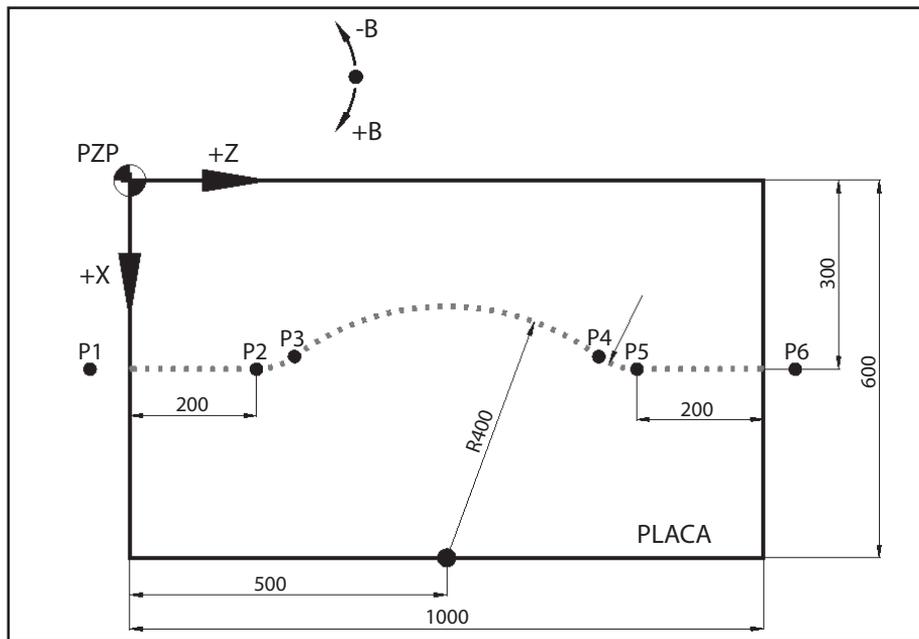


Figura 14 – Peça a ser cortada considerando a torção da lâmina
 Fonte: Os autores (2016).

A tabela 4 apresenta o programa (o código) para serrar de acordo com a trajetória.

Tabela 4 – Programa para cortar a trajetória

	G90 (sistema absoluto)
	G18 (plano de trabalho XZ)
	S1000w M3
	.
	G42 G94
P1	G0 X300 Z-50 B0
P2	G1 X300 Z200 B0 F3500
P3	G3 X280 Z260 I-100 K0 B-37 F3500
P4	G2 X280 Z740 I320 K240 B53 F3500
P5	G3 X300 Z800 I-80 K60 B0 F3500
P6	G1 X300 Z1050 B0 F3500
	G40
	.
	M30

Fonte: Os autores (2016).

O significado das letras e códigos é descrito a seguir: B - representa o eixo para o giro da lâmina de serra que é positivo em sentido horário; I K - trata do centro de interpolação

que dá origem ao arco (incremental, a partir do ponto inicial do arco), I para o eixo X e K para o eixo Z; F - avanço da mesa em mm/min; S - velocidade de corte da serra em mm/min; M - sentido de deslocamento da lâmina de serra (nesse caso, M3 é horário); G40 - cancela compensação do raio da ferramenta; G42 - ativa compensação do raio da ferramenta (direita); G90 - sistema de coordenadas absolutas; G18 - plano de trabalho XZ; G94 - estabelece o avanço em mm/min.

A proposição do trabalho foi desenvolver um produto, seguindo metodologia de projeto. Dessa forma, não são apresentados todos os cálculos de esforços com simulação numérica como requer um produto comercial. Tais análises podem ser feitas em um trabalho futuro. O equacionamento considera as forças nas guias, mancais e a rotação no mecanismo de torção da lâmina para cortar um raio de 400 mm.

A figura 15 apresenta as forças (F_1 e F_2) atuantes nas guias, sendo que F_1 é transmitida nos patins e F_2 age sobre a guia; considerando que a mesa tende a girar em torno do centro, devido à força de avanço (F_a), a força de corte comprime a mesa contra as guias.

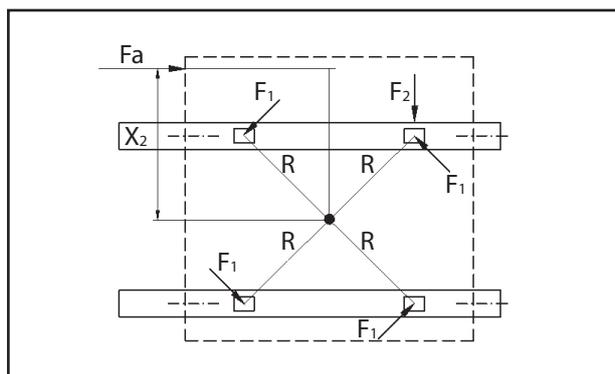


Figura 15 – Forças atuantes nas guias
Fonte: Os autores (2016).

As forças que atuam no volante superior são: a força de esticamento da lâmina (F_e) e as reações nos mancais dos rolamentos (R_A e R_B), de acordo com a figura 16. As medidas a e b são as distâncias entre os mancais.

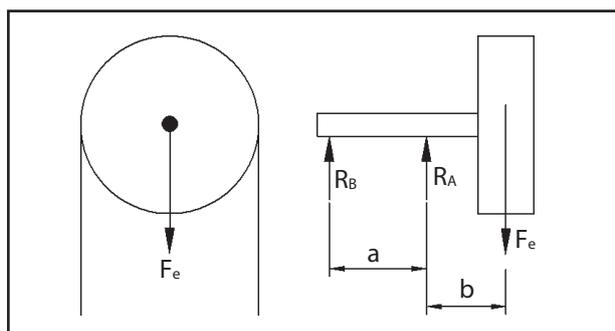


Figura 16 – Forças atuantes no volante superior
Fonte: Os autores (2016).

As reações são obtidas com as equações de equilíbrio ($\sum F_y=0$ e $\sum M=0$) e tem-se:

$$R_A = \frac{F_e b}{a} \quad (1)$$

$$R_B = F_e \left(1 - \frac{b}{a}\right) \quad (2)$$

O cálculo da rotação no mecanismo que torce a lâmina é importante para garantir que os dentes ataquem a placa e não a lateral da lâmina, proporcionando um serrado paralelo à trajetória curva. Considera as velocidades nos eixos X e Z em função do raio de curvatura programado (figura 17).

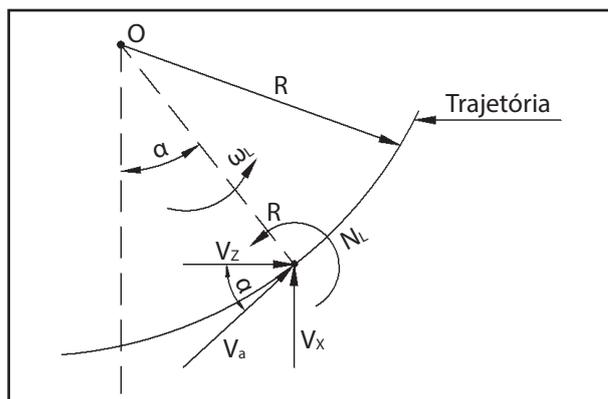


Figura 17 – Relação entre a velocidade de avanço e o raio de curvatura
Fonte: Os autores (2016).

A velocidade angular da lâmina (ω_L) depende da velocidade de avanço (V_A) e do raio (R) a ser cortado, equação 3.

$$\omega_L = \frac{V_A}{R} \quad (3)$$

A rotação do mecanismo que torce a lâmina (n_L) é apresentada na equação 4.

$$n_L = \frac{30 \omega_L}{\pi} \quad (4)$$

Substituindo a velocidade angular na equação 4, resulta na equação 5. A velocidade de avanço da mesa (V_A) é resultante das velocidades nos eixos (V_x e V_z).

$$n_L = \frac{30 V_A}{\pi R} \quad (5)$$

Assim, se a velocidade de avanço da mesa for 3500 mm/min para cortar uma trajetória com raio de 400 mm, a rotação para a torção da lâmina é 83,55 rpm ($n_L = 30 * 3500/400\pi$).

Para complementar a concepção da serra de fita CNC, foi pensado em um *software* de gerenciamento para a máquina. Ele é composto de uma tela inicial, com menus e quadros de diálogos (figura 18). O *software* possibilita monitorar o funcionamento adequado do equipamento e indicar a necessidade de manutenção. Também é possível entrar com informações do material

e a máquina indicar a viabilidade de efetuar o corte programado, ou não. Tal situação permite formar um banco de dados com informações dos materiais a serem cortados.



Figura 18 – Tela inicial do software supervisorio
Fonte: Os autores (2016).

4 Conclusão

O objetivo desse artigo foi demonstrar o processo de desenvolvimento de um produto com o uso de metodologia de projeto. Para isso, desenvolveu-se o projeto preliminar de uma serra de fita automática, para corte de chapas planas, com a utilização de comando CNC. Obteve-se a forma construtiva e funcional da máquina com a definição dos dispositivos envolvidos e com as principais especificações da máquina;

Na serra de fita automática, buscou-se atender à lista de requisitos na sua totalidade e no quesito relacionado à fabricação e montagem, mais especificamente, quanto à padronização de peças. O diferencial do equipamento é o mecanismo para cortar trajetórias curvas: torção da lâmina e giro da mesa. O fator limitante no corte curvo é a lâmina de serra fita, pois possui limites, quanto à torção, o que interfere no raio a ser cortado. O uso de metodologia de projeto organizou o desenvolvimento do produto. A serra de fita CNC permite cortar em curva, pois possui dois sistemas de giro, o que exige complexidade na programação em quatro eixos. Esse produto se destaca dos demais, além de propor um auto-diagnóstico da operação.

Referências

BACK, N. *et al.* **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem.** Barueri: Manole, 2008. 648 p.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos.** 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 344 p.

CALLEGARO, A. M.; DIAS, A. S.; LIMBERGUER, I. F. Prototipo de un equipo de movimiento pasivo continuo para el codó y antebrazo. **Espacios**, v. 33, n. 1, p. 15-20, 2012.

CARVALHO, R. S.; DUTRA, J. C.; BONACORSO, N. G. Desenvolvimento de um manipulador CNC robótico para recuperação por soldagem dos tubos das caldeiras de termelétricas. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 63., 2008, Santos. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 2008. 1 CD-ROM.

CHEREM, L. P.; BONACORSO, N. G.; GESSER, F. J. Desenvolvimento de uma mesa birrotativa modular para integração com fresadoras CNC de baixo custo visando usinagens de modelos complexos em cinco eixos simultâneos. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 2, n. 1, p. 24-32, 2010.

FITZPATRICK, M. **Introdução aos processos de usinagem.** Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013. 506 p.

GONÇALVES, J. F. O. **Impressora 3D com Linux.** 2014. 121 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2014.

GORDON, S.; HILLERY, M. T. Development of a high-speed CNC cutting machine using linear motors. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 166, n. 3, p. 321-329, 2005.

JOHNSON, R. **Taunton's complete illustrated guide to bandsaws.** 2012. Disponível em: <<https://www.finewoodworking.com/assets/downloads/GuideToBandsaws.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

KARUNAKARAN, K. P. *et al.* Retrofitment of a CNC machine for hybrid layered manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 45, n. 7, p. 690-703, dec. 2009.

LUDWIG, J. P.; PALOSCHI, R. B.; SOUZA, J. Processos de usinagem de madeira: comparação entre processos. In: ENCONTRO FLUMINENSE DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 4., 2013, Volta Redonda. **Anais...** Volta Redonda: Universidade Federal Fluminense, 2013.

- PAHL, G. *et al.* **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 411 p.
- PRODOMUS. **Perfis modulares Prodomus.** 2016. Disponível em: <<http://www.prodromus.com.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2016.
- SILVEIRA, C. A. **Integração de um sistema de impressão 3D em uma arquitetura modular de posicionamento cartesiano.** 2015. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- UNITED STATE PATENT AND TRADEMARK OFFICE. David R. Beaman; James M. Grossman; Alfonso Bello. **Programmable band saw and method of sawing.** US 4866630, 14 apr. 1986.
- UNITED STATE PATENT AND TRADEMARK OFFICE. James Kawabata; Niles M. **Band saw for cutting shaped pieces of bar stock.** US 4926728, 28 feb. 1989.
- UNITED STATE PATENT AND TRADEMARK OFFICE. Robert S. Hill; Holly Springs. **Numerical controlled bandsaw for keyboards.** US 3908723, 27 mar. 1974.
- YAN, M. T. *et al.* Development of a prototype Micro-Wire-EDM machine. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 149, n. 1-3, p. 99-105, 2004.

