

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
MATEUS DA SILVA DE ALMEIDA

N. CLASS.	M671.7
CUTTER	A447c
ANO/EDIÇÃO	2012

CONFORMABILIDADE: análise de inconformidades no processo de conformação de chapas metálicas por rolos moldadores.

Varginha

2012

FEPESMIG

MATEUS DA SILVA DE ALMEIDA

CONFORMABILIDADE: análise de inconformidades no processo de conformação de chapas metálicas por rolos moldadores.

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob a orientação da Prof. Luciene de Oliveira Prósperi.

Varginha

2012

FEPEC

MATEUS DA SILVA DE ALMEIDA

CONFORMABILIDADE: análise de inconformidades no processo de conformação de chapas metálicas por rolos moldadores.

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

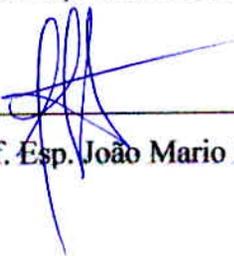
Aprovado em 29/10/12



Prof. Esp. Fabiano Farias de Oliveira



Prof. Esp. Nilson Antônio de Carvalho



Prof. Esp. João Mario Mendes de Freitas

OBS.:

Dedico este trabalho a minha família e a todos aqueles que acreditaram no meu potencial e que contribuíram de forma direta ou indireta para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a Deus, a minha família, a minha noiva Mariana, as pessoas presentes no meu dia-a-dia, especialmente ao prof. Fabiano Farias de Oliveira, que me disponibilizou atenção, conhecimentos pessoais e profissionais acrescidos ao longo da realização deste trabalho.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

Albert Einstein

Grupo Educacional UNTS

RESUMO

O enorme progresso da humanidade se deve em parte a evolução do domínio dos metais, desde sua extração até sua conformação mecânica. É impossível medir o quanto os produtos derivados dos metais estão presentes no dia-a-dia da humanidade. A conformabilidade é a ciência destinada estudar formas de criar e modificar a geometria dos materiais metálicos, obter o máximo rendimento de um material metálico com o menor custo. O processo de perfilagem é classificado atualmente como o processo mais produtivo existente, porém poucos registros se encontram sobre o assunto, sendo um privilégio de poucos. O objetivo deste trabalho é analisar de forma crítica o processo, entender seu funcionamento e buscar conhecimentos para sanar defeitos, imperfeições constantes nos produtos gerados nesse processo, sendo ainda difícil acesso aos recursos computacionais que usam análise finita para prever funcionamento do processo, enquanto que nesse ramo atualmente o método da tentativa e erro é o mais conhecido para sanar problemas.

Palavras-chave: Metais. Perfilagem. Funcionamento

ABSTRACT

The enormous progress of humanity due in part to developments in the field of metals, from its extraction to its mechanical forming. It is impossible to measure how much the products of the metals are present in the day-to-day humanity. The conformability is the science aimed at ways to create and modify the geometry of metallic materials, obtain the maximum performance of a metallic material with the lowest cost .The process of forming roller is current rated as the existing process more productive, but few records are on the subject, being a privilege of few. The objective of this study is to analyze critically the process, understand its operation and seek of know led get the remedy of defects, imperfections contained in the products generated in the process, being still difficult access to computational resources that use finite analysis to predict the process works, where as this branch currently the method of trial and error is the best known remedy for problems.

Keywords: Metals. Profiling Metal.Operation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Máquina Automatizada patenteada por Youngs	12
Figura 02- Diagrama tensão x deformação	13
Figura 03 - Esquema simplificado de uma linha de conformação por rolos	14
Figura 04 - Desbobinador	14
Figura 05 - Linha de produção de perfis.....	15
Figura 06 - Perfiladeira	17
Figura 07 - Rolo Horizontal.....	18
Figura 08 - Rolo Vertical	18
Figura 09 - Rolo Diagonal	19
Figura 10 - Tipos de acionamentos dos eixos.....	21
Figura 11 - Alguns tipos de perfis comerciais obtidos em conformação por rolos	22
Figura 12 - Projeto de rolos moldadores.....	23
Figura 13 - Diagrama Flor Simplificado.....	23
Figura 14 - Zona de tensões na dobra	25
Figura 15 - Defeito tipo ondulação	27
Figura 16 - Defeito tipo empenamento vertical	27
Figura 17 - Defeito tipo empenamento lateral	28
Figura 18 - Defeito tipo erro de abertura	28
Figura 19 - Defeito tipo torção	29
Figura 20 - Fluxo da reciclagem de sucata	31
Figura 21 - Perfil com defeito de ondulação.....	34
Figura 22 - Perfil com aparecimento de ranhura	34
Figura 23 - Definição de corpo e capa.....	35
Figura 24 - Modelagem de furação da prensa pré-corte	36
Figura 25 - Prensa de corte	36
Figura 26 - Modelagem de furação da prensa pré-corte	38
Figura 27 - Análise finita de deformação	39
Figura 28 - Análise finita de Tensão por critério de Von Mises.....	40
Figura 29 - Fluxo de reciclagem simplificado	48
Figura 30 - Composição da LCR-020.....	49
Figura 31 - Ficha técnica bobina SAE 1006.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 CONFORMAÇÃO POR ROLOS OU PERFILAGEM.....	11
2.1 Histórico da conformação por rolos.....	11
2.2 Regime de conformação	12
2.3 Fluxo de produção de perfis.....	13
2.4 Perfiladeira	16
2.5 Tipos acionamento dos eixos	20
2.6 Projeto de ferramental	21
2.7 Folga de Projeto	24
2.8 Projeto do passe incremental	24
2.9 Retorno Elástico	25
2.10 Defeitos gerados no processo.....	26
2.10.1 Ondulação ou repuxo indesejado	26
2.10.2 Empenamento vertical	26
2.10.3 Empenamento lateral	27
2.10.4 Erro de abertura.....	28
2.10.5 Torção	28
3. DESENVOLVIMENTO	29
3.1 Ferro “T” Furado (FTF)	32
3.2 Linha de perfilação LCR-020	35
3.3 Análise de sustentação de ocorrência de ondulação	38
3.4 Análise Crítica	40
3.4.1 “Diagrama Flor”	40
3.4.2 Tensão excessiva.....	41
3.4.3 Diâmetro primitivo	41
3.4.4 Meio-Ambiente.....	42
3.4.5 Matéria-prima	42
3.5 Trabalhos propostos	43
4. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS.....	45
APÊNDICE A – Termo de responsabilidade	47
APÊNDICE B – Fluxo de reciclagem simplificado.....	48
APÊNDICE C – Composição da LCR-020.....	49
ANEXO A – Ficha técnica da bobina.....	49

1 INTRODUÇÃO

Conformação por rolos ou perfilagem é o processo contínuo para gerar uma geometria seccional através de uma chapa de aço, consiste em conformar ou modelar um perfil usando tração da chapa por rolos moldadores. Sendo um dos processos mais produtivos da tecnologia mundial atual onde a conformação se dá por uma máquina denominada linha de conformação por rolos ou perfiladeira, que tem a função particular na produção das peças que apresentam formas longitudinais e seções transversais que variam conforme cada aplicação, sua composição consiste em ferramentas de pré-conformação ou pós-conformação e por pares de rolos cilíndricos dispostos nos gabinetes de sustentação ou castelos. No processo uma ampla escala de produtos é fabricada, podendo obter um produto final para montagem ou um produto usado em um processo produtivo posterior como nas indústrias automobilísticas, onde a perfilagem é utilizada para conformação de perfis ou tiras usadas em embutimento de borracha de vedação de veículos.

O aspecto intrigante da conformação por rolos é que, apesar de seu uso em larga escala na indústria e presentes no dia a dia da humanidade, quase ninguém fora da profissão tenha ouvido falar ou sabe como funciona o processo. Os conhecimentos, informações e experiências adquiridas ao longo dos anos por projetistas e usuários de conformação por rolo não foram documentadas de maneira significativa. Atualmente com o avanço da tecnologia busca-se conhecer mais esse processo que é complexo e preencher lacunas analisando efeitos físicos e químicos.

Com o crescimento da produção mundial e a necessidade de perfis cada vez mais complexos, os projetistas buscam meios eficazes para o desenvolvimento do ferramental, uma vez que não se tem um desenvolvimento adequado de perfil ao longo de rolos moldadores a fim de se poder prever o comportamento da chapa, a distribuição das tensões e o escoamento inadequado durante todo processo acarreta alto índice de inconformidades no produto, acarretando perda de qualidade e aumento do refugo destinado à sucata, sendo que essa sucata representa prejuízo para empresa e gasto de recursos ambientais para reciclagem.

Este trabalho visa analisar de forma crítica uma linha de conformação por rolos moldadores presente em uma determinada empresa, através de informações e estudos montar um relatório baseado em informações para tomada de decisões e otimizações de forma significativa de projetos de perfiladeiras e conjuntos de rolos moldadores para conformação mecânica minimizando o surgimento de defeitos e aumentando assim a qualidade do produto final.

2 CONFORMAÇÃO POR ROLOS OU PERFILAGEM

Segundo Bhattacharyya (2000) a perfilagem é uma operação de processamento rápido utilizado para transformar chapas metálicas em um perfil com uma seção determinada para atender um processo ou produto, o método de conformar por rolo emprega conformar seções da chapa metálica progressivamente até o formato do perfil desejado.

O processo é contínuo, no qual uma chapa de metal a temperatura ambiente é tracionada por pares de rolos moldadores dispostos em castelos montados sequencialmente na estrutura. Cada par de rolos tem função de alterar mecanicamente a forma geométrica da chapa, já os castelos sustentam os rolos moldadores. O conjunto de rolos moldadores dobra inicialmente uma chapa metálica plana ou blank, que progressivamente vai sendo conformada pela ação dos rolos ao perfil desejado. Um processo ao qual se obtém o perfil com respectiva seção geométrica sem perda de material ao longo da conformação mecânica segundo Cavaguti (2005).

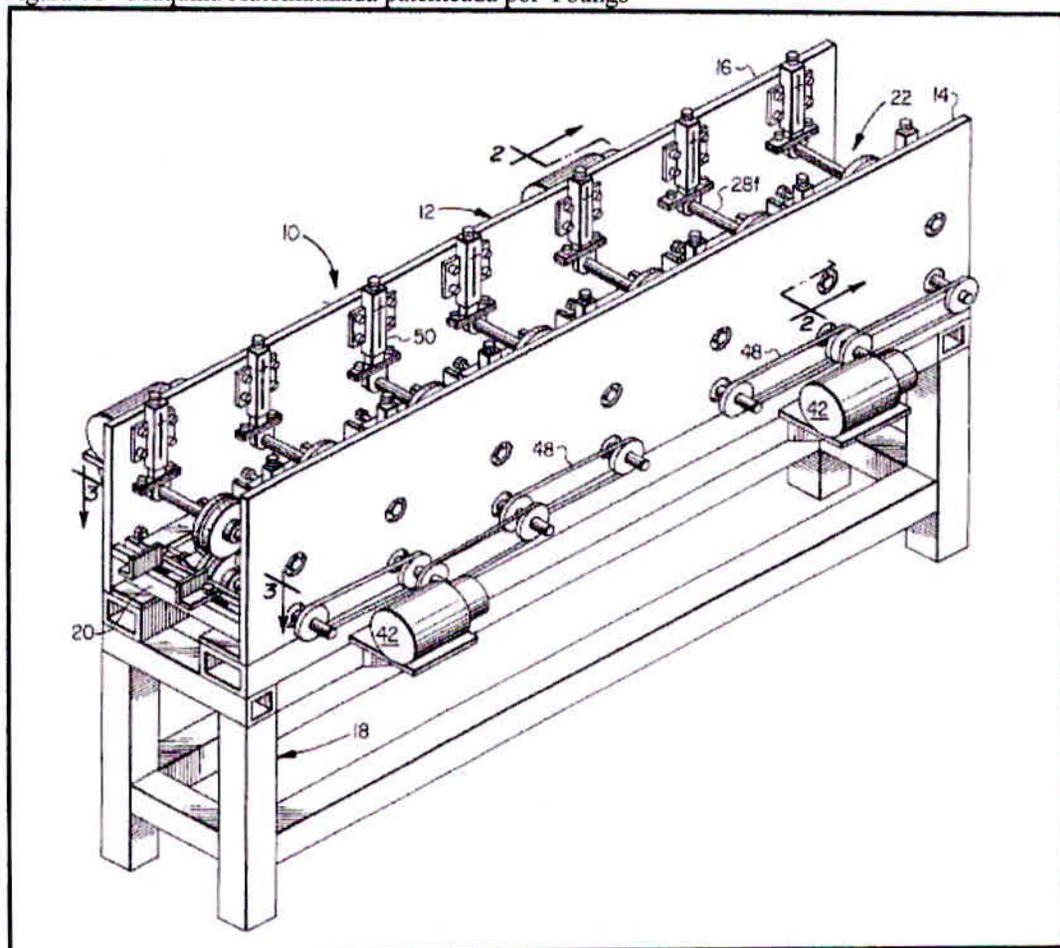
2.1 Histórico da conformação por rolos

Segundo Halmos (2006) o primeiro maquinário podendo ser denominado com o objetivo de conformar por rolos apareceu por volta de 1900, de forma manual e rústica, porém nos últimos 100 anos a produção de laminados espalhou lentamente, tornando-se popularmente conhecida no mundo após a segunda guerra mundial que ocorreu de 1939 a 1945, nesta época a demanda por processos produtivos e produtos metálicos aumentou consideravelmente.

A primeira patente americana de uma máquina automatizada considerada linha de conformação por rolos foi proposta segundo Youngs (1986) (figura 01), documento registrado na United States Patents em 1988, referia esta invenção a uma máquina para conformação de chapas metálicas em perfis ou formas desejadas através da passagem da tira metálica entre rolos moldadores. No entanto Bhattacharyya (1984) classificou o processo de conformação por rolos, mais como uma arte do que como uma ciência, uma vez que existiam poucas referências sobre o assunto.

Halmos (2006) descreveu que as estruturas básicas e idealização de funcionamento da linha de conformação por rolos não são muito diferentes das linhas primitivas, porém com o aumento da tecnologia foram introduzidas melhorias para aumentar a capacidade de produção, diminuição do índice de refugos e aumento da eficiência do processo.

Figura 01 - Máquina Automatizada patenteada por Youngs



Fonte: (Youngs, 1986, p. 2)

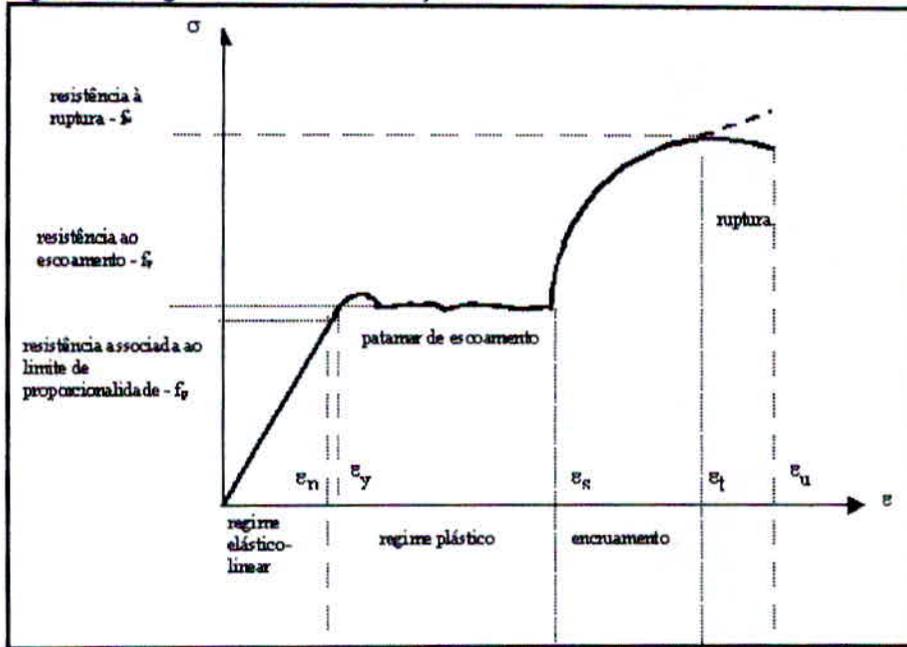
Segundo Halmos (2006) não é fácil prever o limite que a conformação por rolos terá, ou até onde progredirá sempre impulsionada pelas rápidas mudanças na tecnologia mundial e crescente concorrência global, ou seja, produtos que no passado eram impossíveis de serem feitos, hoje são feitos com produtividade, qualidade superficial e tolerância dimensional.

2.2 Regime de conformação

A conformação da tira de material ocorre a frio, ou seja, não tem aquecimento antes da entrada na linha de conformação, nem depois da conformação. A tira é dobrada de forma contínua e progressiva, a deformação plástica ocorre quando o material admite uma determinada tensão escoando até regime plástico segundo Bresciani Filho (2011), abaixo o gráfico determina a deformação em função da tensão aplicada em uma chapa de aço. A deformação plástica é denominada deformação permanente provocada por tensão igual ou superior à f_r (figura 02), alterando a estrutura interna do metal, tornando mais difícil o

escorregamento dos grãos e aumentando a dureza do metal proposto por Muller (2011) em seu trabalho.

Figura 02- Diagrama tensão x deformação



Fonte: USP - Universidade de São Paulo

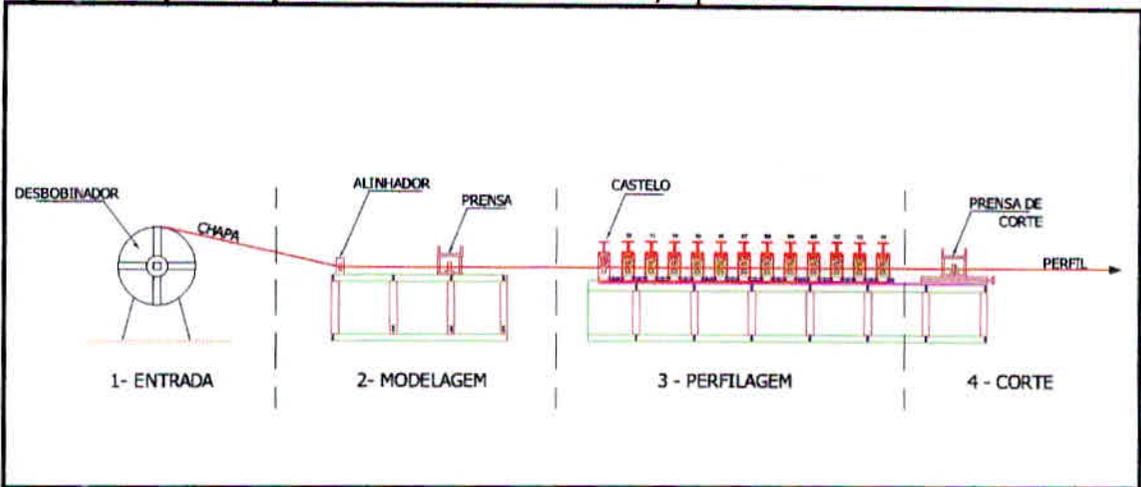
Por se tratar de chapas metálicas, neste trabalho proposto desconsidera-se a dureza obtida no processo uma vez que a espessura da chapa seja infinitamente pequena em relação à largura e o comprimento, pode-se dizer que devido à maneira progressiva na qual a conformação mecânica ocorre, há uma pequena ou nenhuma mudança na área da seção transversal do material trabalhado, sempre na região da dobra, uma boa característica é obter uma chapa de metal que não varie a espessura ao longo de seu comprimento, definiu Cavaguti (2005).

2.3 Fluxo de produção de perfis

O fluxo de produção proposto por Cavaguti (2005) pode ser dividido em quatro etapas principais (figura 03):

1. Entrada de material;
2. Modelagem;
3. Perfilagem ou conformação por rolos;
4. Corte.

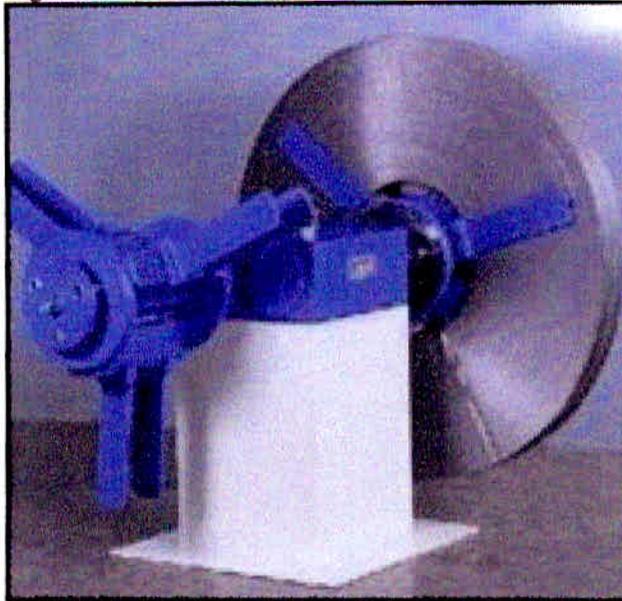
Figura 03 - Esquema simplificado de uma linha de conformação por rolos



Fonte: o autor

Proposto por Almeida Filho (2007) a entrada de material é constituída pelo desbobinador (figura 04) contínuo que pode ser manual ou automatizado, recebendo a bobina enrolada. Sua função consiste em alimentar a linha de produção de perfis, em seguida a chapa plana é guiada para a etapa de modelagem onde se tem primeiramente o alinhador, com função de garantir que o blank não perca o centro do processo.

Figura 04 - Desbobinador

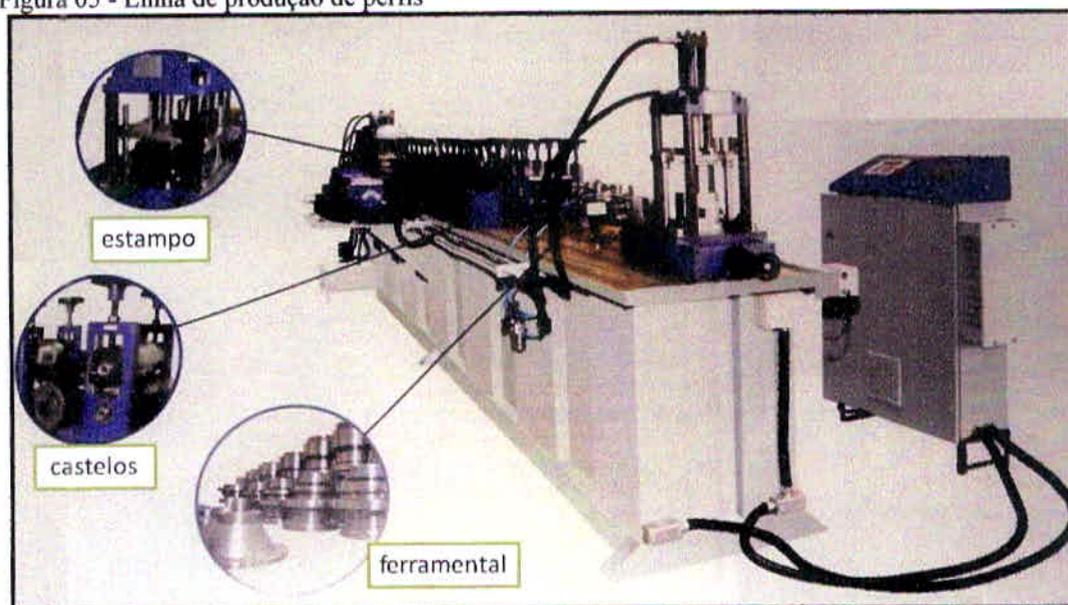


Fonte: Daltec

Em seguida tem a prensa utilizada para realizar furos com geometrias de dimensões pré-estabelecidas, que após o material conformado seriam difíceis ou impossíveis de serem feitas, alguns perfis lineares sem nenhum recorte ao longo do seu comprimento não

necessitam da prensa nessa etapa, em outros casos quando se tem muitos recortes ou estampagens é necessário mais do que uma prensa para recorte da geometria longitudinal, em outros casos também é usual se ver dispositivos nessa etapa com a função de controlar a tensão da chapa. Em seguida a tira entra na etapa da perfilagem que é composta por rolos moldadores dispostos em castelos ou moinhos montados sequencialmente na estrutura, nesse estágio o perfil é conformado, cada castelo tem a função de deformar a chapa metálica, conformando uma fase controlada do perfil, e por último a etapa de corte que consiste de uma prensa mecânica ou hidráulica agindo como uma guilhotina, com a finalidade de cortar o perfil conformado garantindo ou limitando o comprimento da peça, tem casos que pode ocorrer uma pós-usinagem quando se exige uma tolerância justa, mais a finalidade principal está em finalizar o corte garantindo o comprimento ideal para o perfil, essa quarta etapa geralmente é sustentada por uma mesa, e a saída do perfil pode ocorrer em um suporte ou em um conjunto de rolos condutores, confirmando a proposta de composição de uma linha de conformação de rolos proposta por Cavaguti (2005).

Figura 05 - Linha de produção de perfis



Fonte: Aranda Editora

Devido à flexibilidade do processo Bhattacharyya (2000) analisou a velocidade da produção das linhas de produção de perfil e definiu que todas as indústrias podem ser beneficiadas por este processo, sendo que atualmente muitas companhias utilizam os perfis perfilados pela precisão obtida no processo. Uma desvantagem desse processo consiste na troca e ajuste do ferramental para obter um perfil de seção altamente distinto, ou seja, é

inviável fazer esse processo, desde que leva muito tempo para ajustar. Para obter um aproveitamento adequado é imprescindível trabalhar com a máquina no mínimo 3000 metros de chapa de aço em um tipo de perfil segundo Cavaguti (2005), porém Halmos (2006) definiu 16 horas mínimas de trabalho ininterruptas em um mesmo perfil garantirá o aproveitamento adequado do ferramental, as empresas atualmente mantêm um mesmo padrão de perfil, ou com pouca diferença de seção geométrica na mesma perfiladeira, ocasionando no momento de ajuste de outro ferramental apenas a troca de alguns castelos. Segundo Cavaguti (2005) existem outros dispositivos que podem ser instalados para obter aumento da eficiência da jornada de produção, incluindo acumuladores de bobinas, soldador para as extremidades da chapa, assegurando um fluxo de material não interrompido, eliminando a parada para reposição de matéria prima.

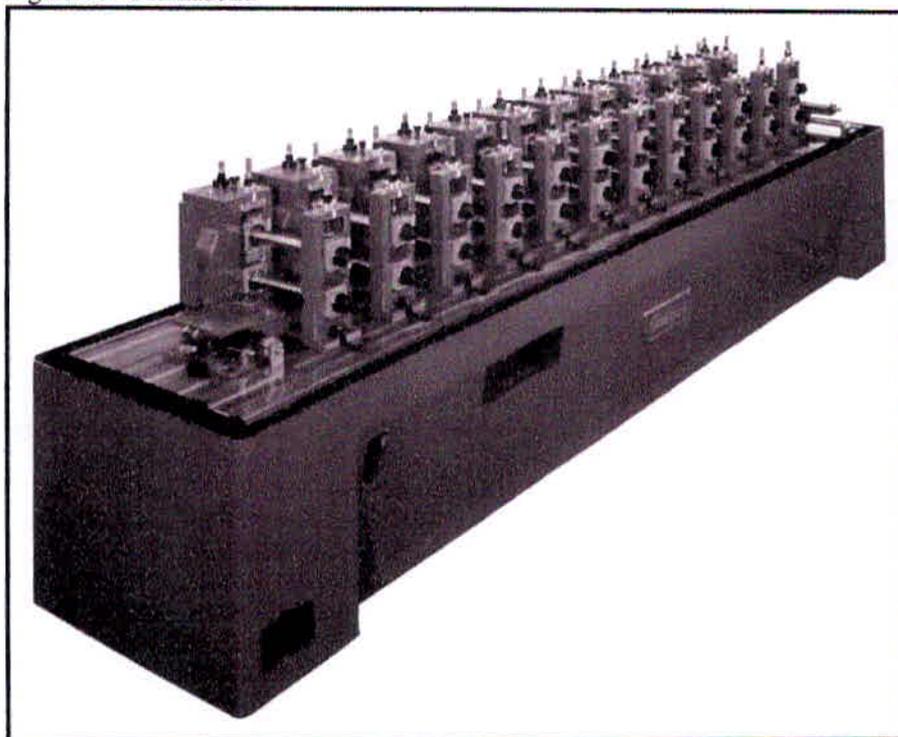
Barbosa (2009) descreveu que o processo de conformação de chapas metálicas tem sido amplamente usado pela indústria automobilística e empresas fornecedoras da construção civil em razão do bom acabamento superficial, redução de peso e baixo custo de fabricação, sendo que a produção de perfis com seções variadas de chapas metálicas tem máxima importância na economia dos países industrializados. De acordo com Marcondes (2009, p.1) “são diversas a variações do processo, utilizado tanto para produzir geometrias funcionais como para aumento da rigidez de peças”.

2.4 Perfiladeira

Segundo Halmos (2006) a perfiladeira (figura 06) é a peça fundamental de uma linha de produção de perfis e componente principal de estudo deste trabalho, sua função é gerar perfis com seção variada e com alta qualidade. É composta por rolos moldadores sustentados por castelos posicionados seqüencialmente em uma mesa de apoio. Cavaguti (2005) classificou as perfiladeiras em duas categorias, as perfiladeiras com mancais externos e perfiladeiras com mancais internos, ambas com as extremidades dos eixos de rotação onde os rolos moldadores são acoplados sendo sustentados pelos mancais de rolamentos montados dispostos nos castelos. Na perfiladeira com mancais internos, os eixos de rotação são sustentados em apenas uma das extremidades através dos mancais de rolamentos que estão posicionados diretamente na perfiladeira sem utilizar castelos, apresentando como vantagem a melhor acessibilidade ao material durante sua modelagem além da facilidade da troca do ferramental cilíndrico e é normalmente usada para modelar materiais finos ou para modelar as extremidades laterais de tiras.

Segundo Cavaguti (2005) as perfiladeiras com mancais externos possuem o eixo de transmissão apoiado sobre os mancais de rolamento montados nos castelos, em geral o mesmo castelo possui uma ajustagem de altura e pressão do rolo superior através de um fuso ligado a uma manopla giratória.

Figura 06 - Perfiladeira



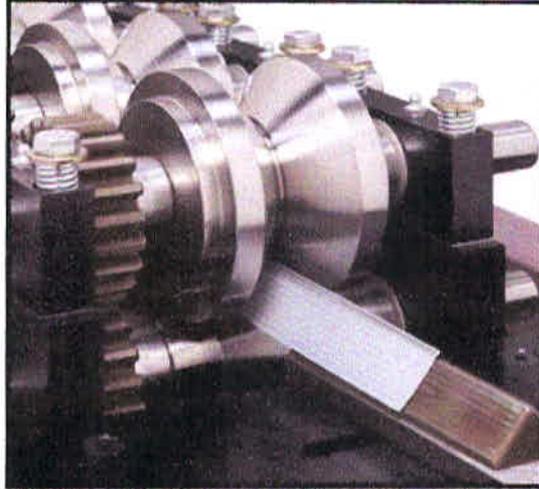
Fonte: (Halmos, 2006, p.182)

Para um projeto adequado de uma perfiladeira é preciso analisar primeiramente a complexidade do perfil desejado, Lindgren (2005) descreveu que uma das primeiras decisões é analisar a quantidade de castelos com pares de rolos, para definir o passo entre os castelos sendo que quando ocorre o passo inadequado dos castelos aumenta o índice de refugos, mais tarde sendo classificado como fator principal do defeito de empenamento lateral segundo Muller (2011), porém é necessário analisar as propriedades do material, a seção transversal que se deseja obter e os requisitos de tolerância geométrica do perfil definiu Lindgren (2005). Uma tarefa complexa para o projetista de perfiladeiras que tenta obter o melhor rendimento do perfil minimizando o número de castelos e rolos moldadores, com isso reduzindo o custo de investimento para construção da perfiladeira segundo Lindgren (2005).

Cada perfil tem um desenvolvimento de rolos moldadores segundo Cavagutti (2005), portanto, cada seção transversal terá um conjunto de roletes ao longo de seu comprimento, sendo assim cada par de rolos tem a função de alterar a geometria da chapa progressivamente.

Eles são acoplados ao eixo de transmissão, travados através de chavetas (dispositivo usado na mecânica com função de travar eixos), de forma a se obedecer a seqüência necessária para a conformação progressiva da chapa e criação do perfil. Os rolos podem se distinguir em três sentidos de rotação, variando conforme a necessidade de perfil. O rolo horizontal (figura 07) é o mais comum, acoplado ao eixo na posição horizontal.

Figura 07 - Rolo Horizontal



Fonte: o autor

Os rolos verticais (figura 08) são usados em geometrias aonde se deseja melhor tolerância dimensional nas faces verticais do perfil, já os rolos diagonais (figura 09) são usados em perfis de seções complexas, sua utilização tem que ser analisada criteriosamente.

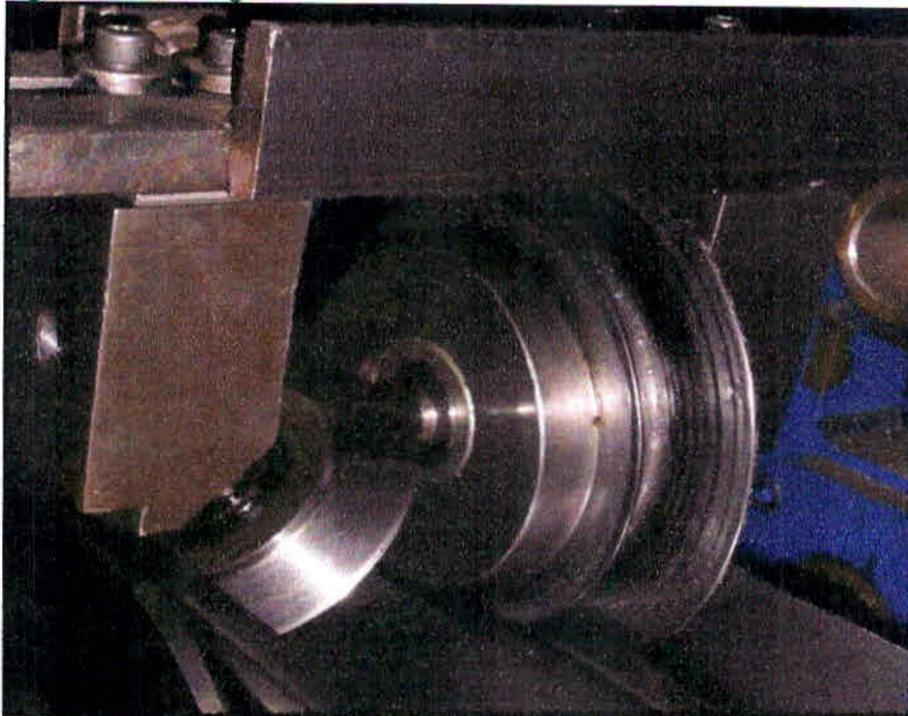
Figura 08 - Rolo Vertical



Fonte: o autor

A importância do rolo moldador na perfiladeira é grande, uma vez que houver a troca do mesmo, pode ser fabricado outro perfil distinto, não é usual nas empresas, pela manutenção e ajustagem demorada segundo Halmos (2006). Sempre que um rolo moldador realiza uma volta completa, todos os pontos em sua superfície percorrem uma trajetória circular, portanto, diferentes partes do rolo moldador apresentam diferentes velocidades lineares dependendo da distância de suas localizações ao seu centro de rotação citou Cavaguti (2005) em sua análise.

Figura 09 - Rolo Diagonal



Fonte: o autor

Para obter o melhor rendimento do projeto da perfiladeira segundo Halmos (2006) é necessário avaliar sua configuração em relação ao perfil e espessura de chapa, o projeto do perfil é denominado “diagrama flor”, um conjunto de rolos que recebe a matéria-prima do processo, com espessura inferior a chapa do projeto, gerará perfis com baixo padrão de tolerância dimensional entre outros defeitos, já quando recebe a matéria-prima do processo com espessura superior do projeto, sofrerá aumento de tensão, gerando alto desgaste e trincas superficiais nos roletes. Pressões excessivas dos roletes na chapa podem gerar uma diminuição da seção em alguns tipos de perfis, aumentando a resistência à fadiga e fragilidade a esforços mecânicos. A composição de um rolo moldador varia de projetista, o mais usual é usar o material SAE 8620, com tratamento superficial denominado cementação, garantindo

que o núcleo do rolo moldador seja altamente tenaz para absorver impactos e tensões, e que a superfície esteja com uma alta dureza resistindo ao desgaste gerado pelo atrito entre a chapa e o rolo moldador.

Outra peça importante é denominada eixo de transmissão com função de conectar e sustentar o rolo moldador sobre mancais dispostos nos castelos segundo Cavaguti (2005), também transmite a potência que é gerada no motor/redutor e distribuída em rodas dentadas acopladas nas extremidades dos eixos ao rolo moldador, o eixo em um projeto tem que ser bem dimensionado, para suportar as tensões geradas nos rolos moldadores, sendo o eixo admitido a esforços superiores irá deformar, a flambagem do eixo tira os rolos moldadores fora do centro rotacional, gerando velocidades diferentes ao longo do rolo, este tipo de problema cria ranhuras que podem ser vistas na superfície da peça perfilada, também ocorre a perda da linha neutra da chapa ocasionando a diminuição da chapa do perfil segundo Cavaguti (2005). Geralmente a linha de eixos inferiores, recebe a potência do motor/redutor convertendo a em velocidade angular e posteriormente força de tração, com engrenamento transferem ao rolo superior, em outro caso os eixos inferiores e superiores recebem a potência do motor/redutor, e ainda tem casos que o eixo superior não recebe potência do motor, simplesmente é apoio forçando o perfil, através do contato e atrito onde é deslocado no sentido angular, não é recomendado esse tipo de configuração de eixo, pois gera fadiga do eixo, do rolo moldador e ainda não garante uma tolerância dimensional adequada.

Por último se encontram apoiados na base da perfiladeira, os castelos sustentam através de mancais ou rolamentos o sistema de eixo de transmissão e os rolos moldadores, apresentando fusos na parte superior para ajuste da folga de projeto. Em um castelo o eixo inferior não tem regulagem, já o rolo superior pode ser deslocado verticalmente segundo Cavaguti (2005).

2.5 Tipos acionamento dos eixos

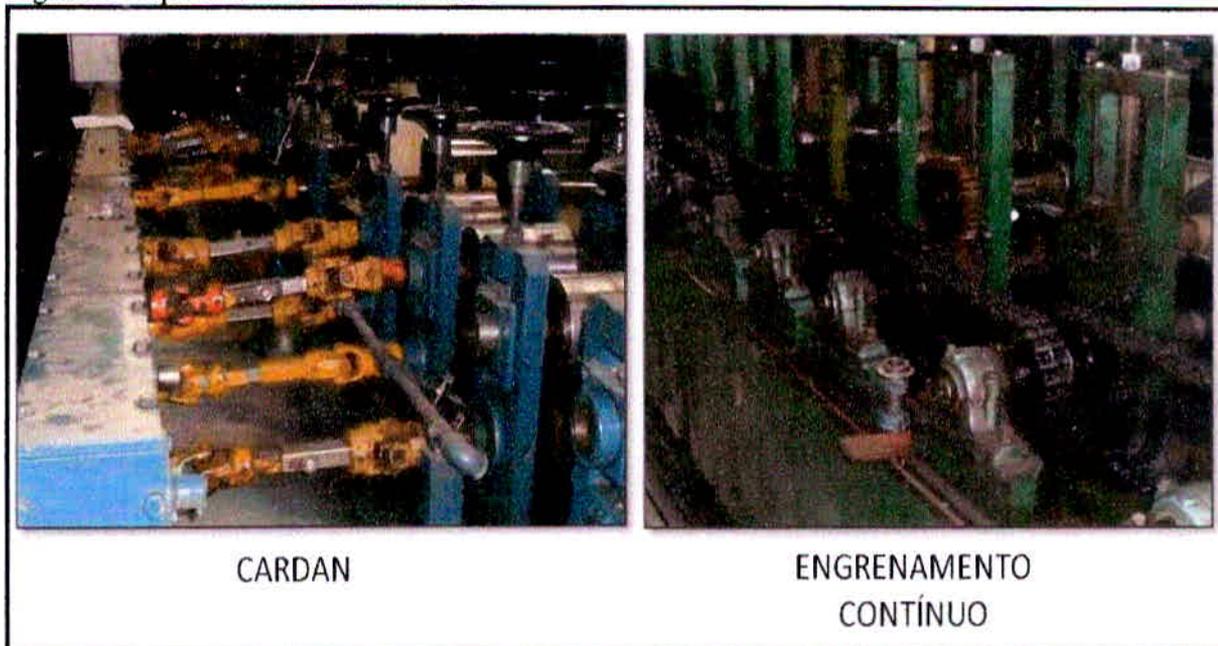
As perfiladeiras segundo Cavaguti (2005) podem ser divididas em dois seguimentos quando se descreve seu sistema de acionamento do eixo, o mais usual é o acionamento por meio de cardans, porém cada vez, é mais encontrado o acionamento por engrenamento contínuo (figura 10).

O acionamento por cardans recebe a potência do motor através de correntes, e transforma essa potência para ser usada no eixo de transmissão, já o acionamento por engrenamento contínuo a roda dentada é acoplada diretamente ao eixo de transmissão em

seguida o eixo de transmissão inferior através de engrenagens transfere a velocidade para o eixo superior.

A vantagem do sistema de cardan é permitir a variação da linha neutra do eixo de transmissão, já o engrenamento contínuo não permite uma variação assim, uma vez que aumentando o contato do diâmetro primitivo da engrenagem, a mesma irá se desgastar rapidamente, podendo gerar trincas internas, porém sua vantagem consiste em uma troca do conjunto moldador mais rápida que o acionamento por cardan, definiu Cavaguti (2005).

Figura 10 - Tipos de acionamentos dos eixos



Fonte: o autor

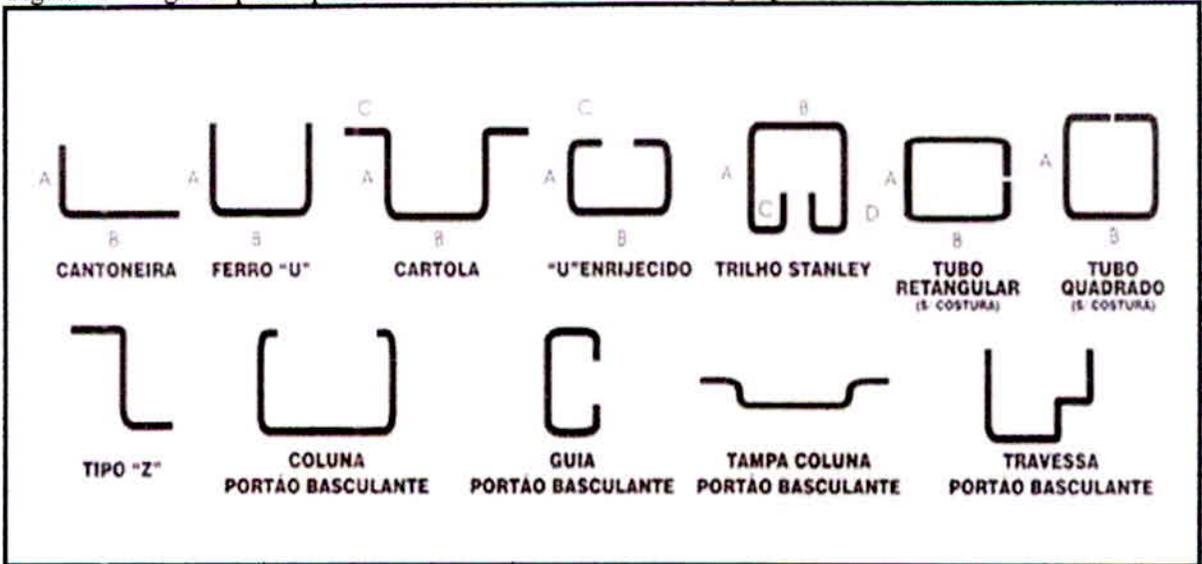
2.6 Projeto de ferramental

As formas geométricas de perfis adquiridas no processo são inúmeras, uma ampla gama de seções geométricas pode ser conformada por rolos moldadores segundo Cavaguti (2005), uma vez que com o aumento da complexidade do perfil irá gerar mais rolos moldadores e castelos, um projeto eficiente é aquele que se obtém a seção com a tolerância adequada com o mínimo de castelos, sendo que a construção deste encarece o projeto da linha de produção de perfis segundo Halmos (2006). Vários materiais podem ser conformados por rolos moldadores segundo Lindgren (2005), por exemplo, alumínio, aço, aço inoxidável, etc.

Os perfis podem adquirir a forma aberta ou fechada, entre operadores de perfiladeiras os perfis abertos são chamados de lineares e os com a geometria fechada são chamados de tubulares, sua diferença estrutural consiste que os perfis tubulares, tem um aumento da

resistência a torção, aumento de rigidez e robustez, aumento da resistência a tração e compressão, por outro lado o aumento da largura da chapa ou tira é praticamente dobrado, aumentando o custo do perfil.

Figura 11 – Alguns tipos de perfis comerciais obtidos em conformação por rolos



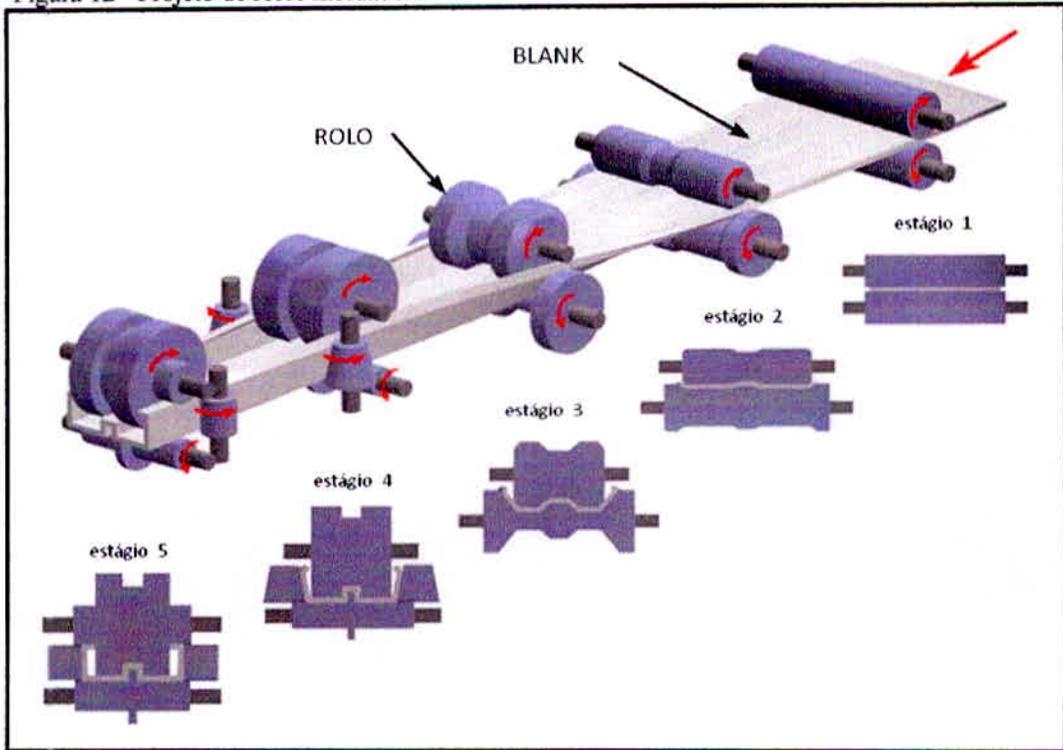
Fonte: Petrimazza

Após analisado o perfil o projetista começa o desenvolvimento de ferramental de conformação, é considerado um perfil eficiente segundo Halmos (2006) aquele que atende necessidades de produção com um custo baixo. Cada escolha é fundamental para boa precisão do conjunto segundo Lindgren (2005), uma vez analisado pode ser projetado o ferramental, porém em seguida é importante definir material a ser conformado, obtendo os esforços que rolos moldadores e os eixos de transmissão serão submetidos.

Para o desenvolvimento do ferramental de conformação o projetista desenvolve o "diagrama flor" segundo Halmos (2006), ao qual indica o perfil de cada seção dispostas nos castelos, ou seja, é um estudo do fluxo de conformação ao longo dos castelos (figura 12), essa análise assegura o desenvolvimento dos rolos moldadores. O diagrama contém seções onde se é aplicado um determinado ângulo de dobra, o ângulo de dobra varia ao longo da conformação, porém não se deve gerar um ângulo de dobra em uma chapa maior que 15° segundo Cavaguti (2005), uma vez que um ângulo excessivo pode ocorrer o cisalhamento da chapa nas dobras.

Porém Halmos (2006) definiu que o projetista pode variar o ângulo até 25° dependendo da condição, porém deve-se estudar o melhor fluxo ou escoamento estrutural do material.

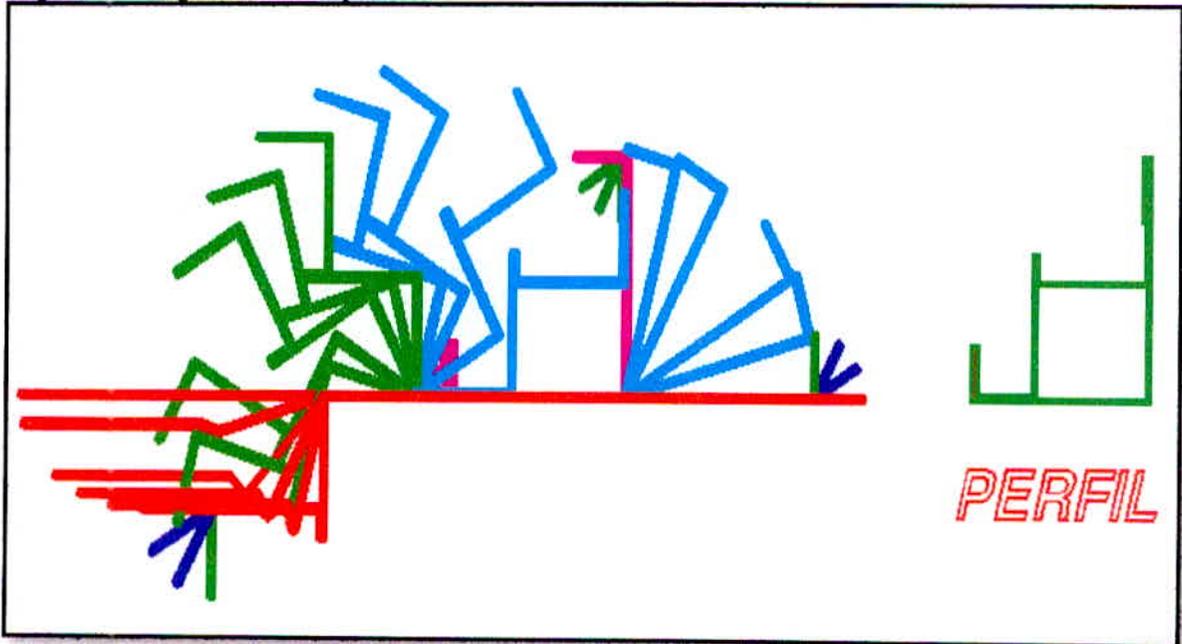
Figura 12 - Projeto de rolos moldadores



Fonte: Sample

Atualmente existem programas computacionais que geram o “diagrama flor” (figura 13) através de análise de elementos finitos de forma que, obtenha a melhor eficiência do projeto com o menor custo.

Figura 13 - Diagrama Flor Simplificado



Fonte: o autor

Outro fator importante consiste segundo Cavaguti (2005), na existência de duas linhas de centro a serem analisadas, essas linhas são imaginárias servindo para o projetista tomar decisões no projeto, uma delas é denominada linha de centro vertical que indica o ponto do centro do perfil ao longo da conformação, logo esse ponto estará na mesma posição ao longo da conformação, servindo como referência para o projeto dos rolos moldadores, portanto, a velocidade de avanço ou taxa de alimentação de um processo de perfilação a frio corresponde à velocidade linear da linha de centro vertical na chapa de metal. A outra é denominada linha de centro de rotação, sendo a medida entre o centro dos rolos moldadores, inferiores e superiores, em cada castelo há uma linha de centro de rotação. Segundo Cavaguti (2005) a linha de centro de rotação é importante, pois, cada passe do conjunto de conformação deve ser aumentado gradativamente seu diâmetro em 0,5 a 1%, esse aumento proporciona que o rolo moldador posterior sempre esteja tracionando a chapa.

2.7 Folga de Projeto

A folga de projeto é aquela feita entre a chapa e superfície do rolo moldador, sua importância consiste em definir o tracionamento feito pelo rolo moldador sobre a chapa, se a bobina de chapa de aço vier com variação da espessura ao longo do seu comprimento, teremos defeitos no perfil, no trecho que a chapa estiver mais estreita, os rolos moldadores não aplicarão a força necessária para conformação uma vez que estão ajustados para uma folga maior, com isso teremos um perfil final fora das dimensões de projetos e outros casos quando temos furos vazados na chapa feitos antes da perfiladeira, pode-se haver repuxo dessa geometria, já quando temos a espessura maior que a folga, teremos primeiramente o desgaste excessivo do rolo moldador e haverá ranhuras ao longo do comprimento do perfil, gerando uma qualidade superficial do perfil inferior ao projeto segundo Cavaguti (2005).

2.8 Projeto do passe incremental

Segundo Cavaguti (2005) o passe incremental é o intervalo entre dois castelos consecutivos, com ele é possível determinar a velocidade de conformação, ou seja, a velocidade de alterar uma seção do perfil. Para cada projeto é desenvolvido um passe, e sua importância de projeto consiste em, por exemplo, alterando os rolos moldadores para um passe menor do diferente ao qual foram projetados e desenvolvidos poderá ocorrer que uma parcela da chapa se torne permanentemente alongada no momento que a chapa passa pelos

castelos, por outro lado quando é aumentado o passe o perfil pode se abrir entre os castelos através do retorno elástico da chapa, necessitando que o próximo rolo moldador dobre um ângulo maior que o especificado no projeto.

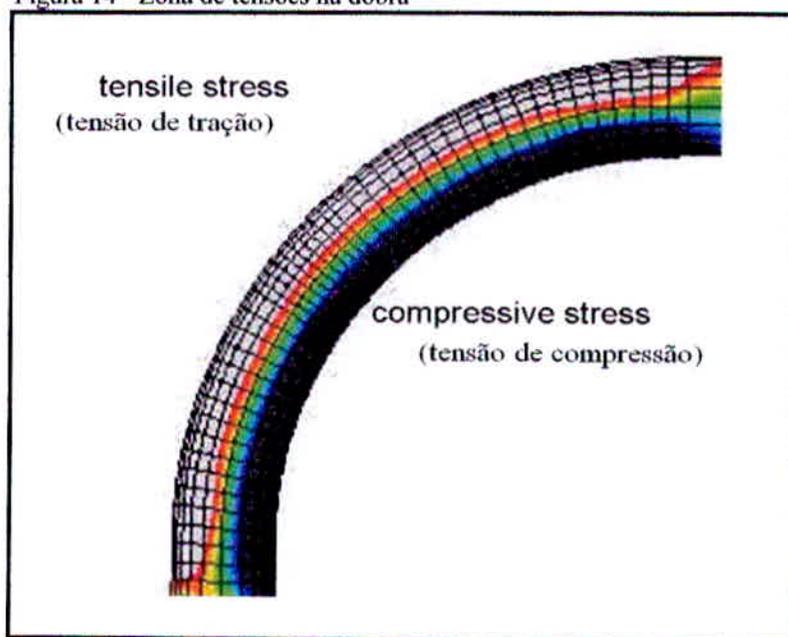
O projeto da perfiladeira ideal é aquele com a menor quantidade de passos, ou seja, uma menor quantidade de castelos, rolos moldadores, eixos de transmissão, ocorrendo também uma mais rápida conformação com menos passes aumentando a produção, poucos passos irá gerar acúmulo de tensões no perfil, ajuste de ferramental demorado, muitos passes fará o projeto da perfiladeira com um custo inviável segundo Halmos (2006).

Lindgren (2005) descreve no momento em que o projetista analisar a quantidade de passos que a conformação do perfil requer, tem que levar em conta a seção transversal, tolerâncias exigidas, o acabamento superficial e a matéria-prima, para que segundo Branco (1991) diminuindo o índice de refugo e perdas desnecessárias nos processos industriais garante um aproveitamento adequado dos recursos naturais.

2.9 Retorno Elástico

O retorno elástico segundo Cavaguti (2005) (figura14) varia de acordo com a espessura da chapa, a seção anterior força a chapa a retornar ao seu estado inicial, logo o rolo moldador para conformar tem que vencer a tensão elástica da chapa e o retorno elástico causado pelo conjunto de rolo moldador anterior.

Figura 14 - Zona de tensões na dobra



Fonte: (Chen, 2006, pag. 2)

De acordo com Chen (2006) o retorno elástico é um fenômeno físico e o principal fator que influencia na perda de tolerância geométrica de um perfil e causa raiz do defeito denominado de abertura do perfil. A maior tensão está nas dobras enquanto o lado externo é tracionado, o lado interno da dobra é comprimido, sendo que essas tensões agem de forma a voltar para o estado inicial dando origem ao retorno elástico.

2.10 Defeitos gerados no processo

A linha de conformação é um dos processos para produção de perfis mais produtivos presente atualmente, porém segundo Halmos (2006) a linha de conformação por rolos quando não é projetada corretamente, acarreta defeitos e consequências ao perfil, gerando em casos alto nível de refugo e perda dimensional. Cavaguti (2005) destacou os seguintes defeitos mais encontrados do processo: torção, ondulação, empenamento vertical, empenamento lateral e erro de abertura final. Sendo que Halmos (2006) em seu trabalho desenvolveu um dispositivo denominado alinhador de perfil capaz de minimizar alguns dos principais defeitos, porém não os eliminando.

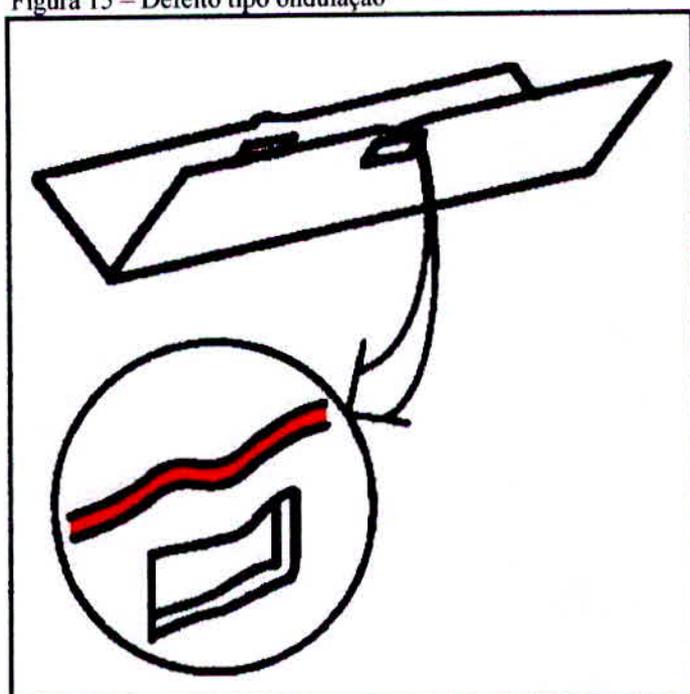
2.10.1 Ondulação ou repuxo indesejado

O defeito denominado ondulação (figura 15) é encontrado em vários perfis, geralmente onde se tem materiais com alta resistência, espessura fina, projetos inadequados de rolos moldadores ou passe entre castelos insuficientes segundo Cavaguti (2005).

2.10.2 Empenamento vertical

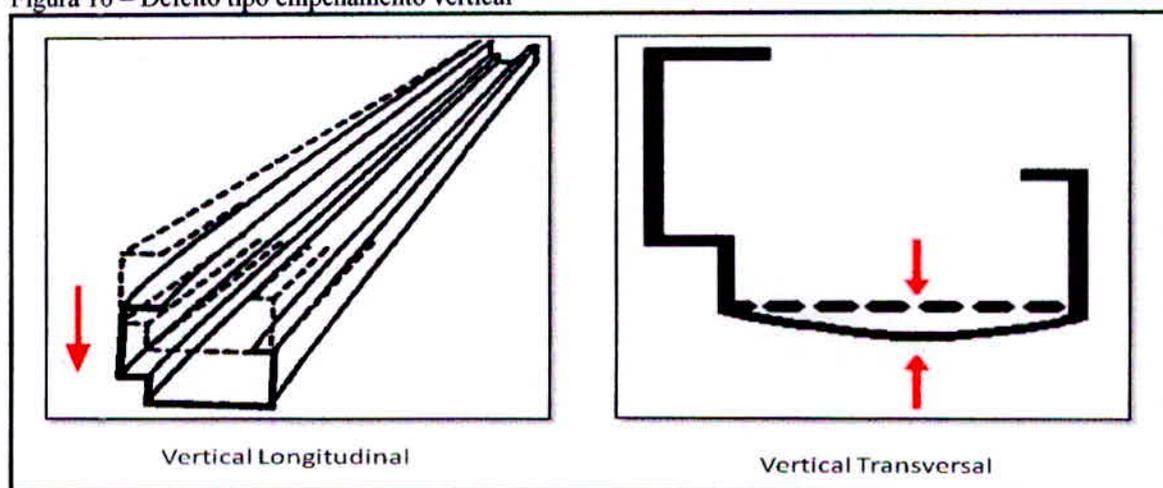
O defeito denominado empenamento vertical (figura 16) pode ser encontrado em duas formas descrita por Cavaguti (2005), longitudinal quando se tem a curvatura do perfil longitudinal em relação ao seu plano vertical, em outra forma pode ser encontrado como transversal quando se tem a curvatura do perfil transversal em relação a um plano vertical ou horizontal, esse tipo de defeito ocorre quando se tem projeto inadequado da perfiladeira ou em outros casos a existência de sobre carga aplicada nos rolos moldadores enquanto ocorre a passagem chapa metálica no processo de conformação por rolos.

Figura 15 – Defeito tipo ondulação



Fonte: (Cavaguti, 2005, p.39)

Figura 16 – Defeito tipo empenamento vertical

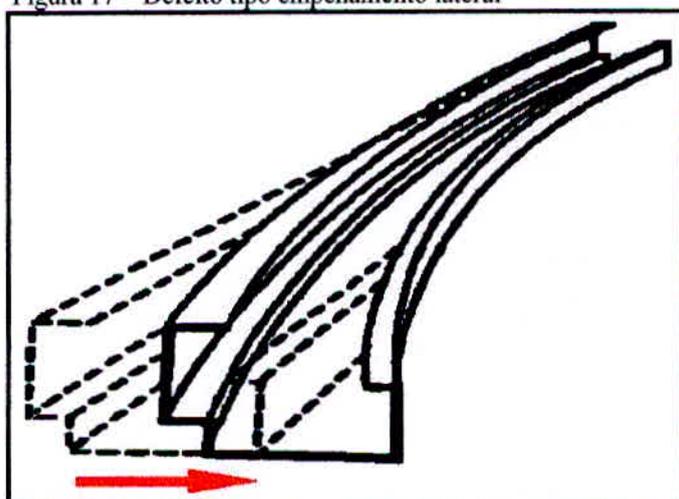


Fonte: (Cavaguti, 2005, p.40)

2.10.3 Empenamento lateral

O defeito denominado empenamento lateral (figura 17) pode ser encontrado quando se tem a curvatura apresentada pelo perfil longitudinal em relação ao plano horizontal, sendo causado tanto por alinhamento inadequado dos rolos moldadores, como por pressão excessiva segundo Cavaguti (2005).

Figura 17 – Defeito tipo empenamento lateral

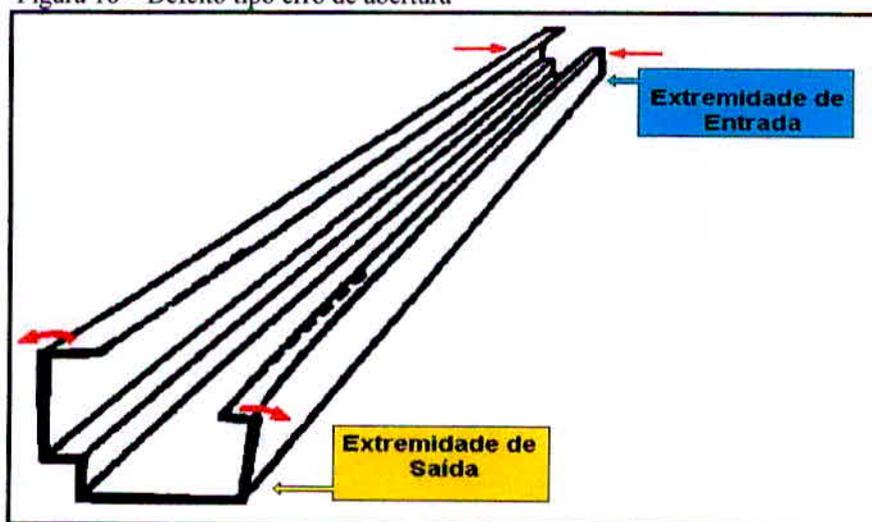


Fonte: (Cavaguti, 2005, p.40)

2.10.4 Erro de abertura

O defeito denominado erro de abertura (figura 18) ocorre no início de um perfil e no final do mesmo com alteração geométrica e perda dimensional, é causado geralmente por uma conformação na entrada em excesso e na saída uma conformação em alívio segundo Cavaguti (2005).

Figura 18 – Defeito tipo erro de abertura



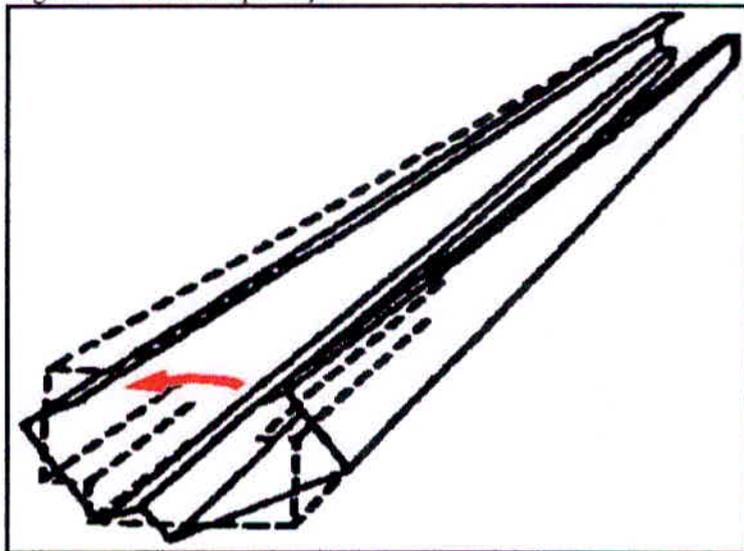
Fonte: (Cavaguti, 2005, p.41)

2.10.5 Torção

O defeito denominado de torção (figura 19) ocorre quando o perfil apresenta no final uma torção em relação à geometria do começo do perfil, segundo Cavaguti (2005) é

encontrado em perfis assimétricos quando se excede a pressão dos rolos moldadores sobre perfil.

Figura 19 – Defeito tipo torção



Fonte: (Cavaguti, 2005, p.39)

3. DESENVOLVIMENTO

Atualmente cientistas buscam maneira de viabilizar o processo de conformação por rolos, criando métodos matemáticos e computacionais para diminuir defeitos gerados no processo, atualmente os defeitos são solucionados pelo método de tentativa e erro, consumindo muito tempo e recursos. O objetivo deste trabalho é analisar uma determinada linha de conformação por rolos da empresa MGM, situada em Monsenhor Paulo (MG) (VER ANEXO A – Termo de responsabilidade), produzindo um relatório com precisão, propondo melhorias baseadas em informações, análises e testes. A linha de conformação por rolos em análise é denominada de linha de conformação (LCR-020), fabricando um perfil denominado Ferro “T” Furado (FTF) usado posteriormente na linha de produção de esquadrias metálicas, sendo que aproximadamente 22,1% dos produtos feitos pela empresa usam o produto derivado da LCR-020.

Outro fator preocupante é o índice de refugos gerados na LCR-020, que conforma bobinas SAE 1006 (VER APENDICE A – Ficha Técnica Bobina), em pesquisa de campo analisamos três fornecedores de matéria-prima com as mesmas características, não será divulgada a marca de cada matéria-prima, sendo este não consistir no foco do trabalho, nesta

análise observa-se ocorrência de diversos defeitos no perfil. Classificando as amostras como MP-C1, MP-C2 e MP-C3 (tabela 01) com o seguinte critério de avaliação:

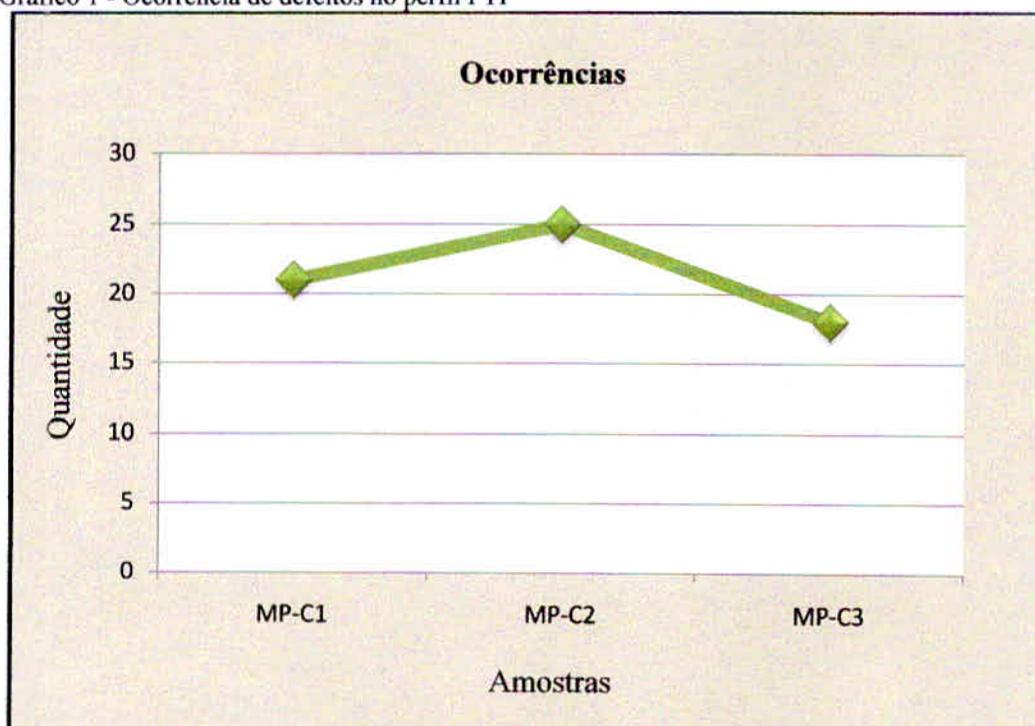
- Acima de 0,2mm de variação geométrica em relação ao produto proposto.

Tabela 1 - Análise da linha de fluxo de conformação

<u>ANÁLISE</u>					
DESCRIÇÃO DO DEFEITO: Defeitos encontrados					
DURAÇÃO DA ANÁLISE: 3 minutos de produção da linha de conformação.					
QUANTIDADE DE CORTES: ± 30 furos.					
<u>DADOS OBTIDOS</u>					
AMOSTRA DE BOBINA	Nº OCORRÊNCIAS	%	VARIACÃO (mm)		
			MÁX	MIN	
MP-C1	21	70	1,20	0,50	
MP-C2	25	83	2,60	0,74	
MP-C3	18	60	1,05	0,25	

Fonte: o autor

Gráfico 1 - Ocorrência de defeitos no perfil FTF



Fonte: o autor

Após análise observa-se que a amostra MP-C3 apresentou melhor rendimento na LCR-020, enquanto a amostra MP-C1 é considerada intermediária, porém amostra MP-C2 apresentou maior índice de defeitos, conseqüentemente maior índice de refugos. Esse refugo é considerado sucata e repassado para empresas com função de reciclagem. Através de levantamentos de dados junto aos setores de compras e meio-ambiente na empresa, onde se tem a seguinte análise:

- 1kg bobina laminada SAE 1006 = R\$2,25
- 1kg de sucata SAE 1006 = R\$ 0,35

Com isso concluímos que:

$$\text{Perda (\%)} = \left| \frac{\text{preço sucata (\$/kg)}}{\text{preço bobina (\$/kg)}} - 1 \right| * 100$$

$$\text{Perda (\%)} = \left| \frac{0,35}{2,25} - 1 \right| * 100$$

$$\text{Perda (\%)} = 84,5\%$$

Um processo eficiente é aquele que gera o mínimo de sucata, sendo que esta sucata pode ser gerada no processo ou a sucata proveniente de perfis não conforme ou refugo. Conforme (figura 20), segue fluxo de reciclagem para 1tonelada de aço (VER APÊNDICE B – Fluxo de reciclagem simplificado).

Figura 20 – Fluxo da reciclagem de sucata



Fonte: o autor

3.1 Ferro "T" Furado (FTF)

No perfil fabricado pela LCR-020 é denominado ferro "T" furado (FTF), usado como produto para confecção de esquadrias metálicas. Os defeitos encontrados no produto são prejudiciais à estrutura, gerando tensões internas, estética desagradável, diminuição da qualidade superficial e aumento do índice de refugos. Abaixo análise de ocorrências de defeitos encontrados em uma produção de perfis.

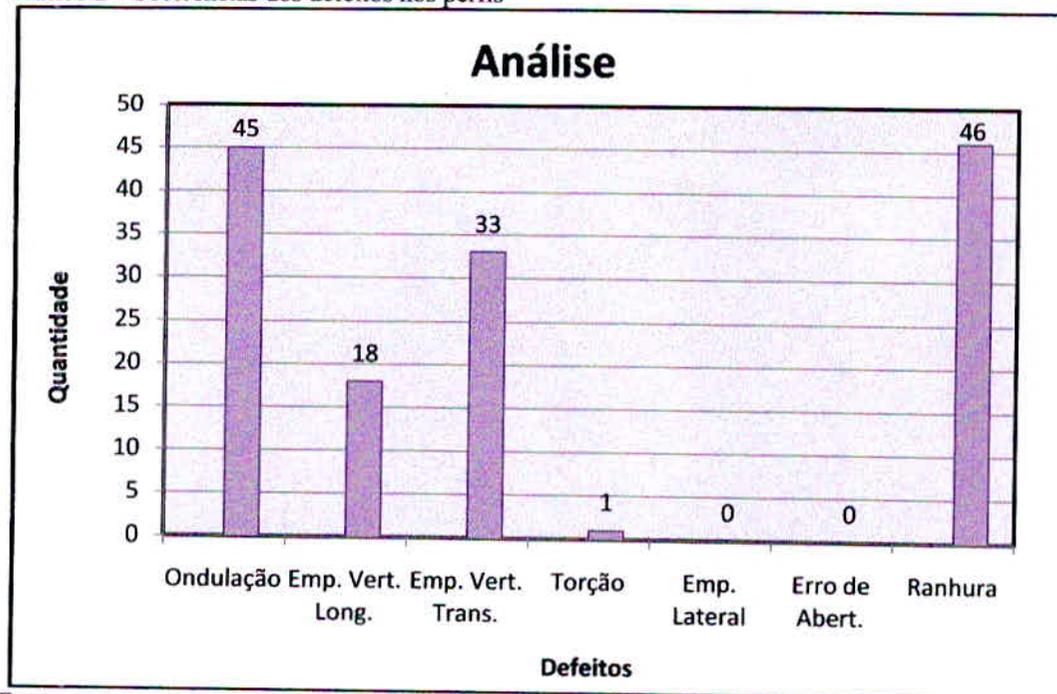
O critério de avaliação usado é o seguinte:

- Empenamento Lateral – Acima de 0,15mm da geometria proposta
- Empenamento Vertical – Acima de 0,1mm da geometria proposta
- Erro de Abertura – Acima de 0,05mm da geometria proposta
- Ondulação – Acima de 0,05mm da geometria proposta
- Torção – acima de 3° da geometria proposta

O ensaio na LCR-020 durou 5 minutos havendo uma produção de 51 peças, totalizando uma estimativa de produção de aproximadamente 10 peças/minuto de ensaio. Abaixo resultado (quadro 1):

- Comprimento do FTF = 245mm
- Cada peça contendo um furo

Gráfico 2 - Ocorrências dos defeitos nos perfis



Fonte: o autor

Quadro 1 - Análises de defeitos encontrados no perfil

PEÇA	ONDULAÇÃO	EMPENAMENTO VERTICAL		TORÇÃO	EMPENAMENTO HORIZONTAL	ERRO DE ABERTURA	RANHURA
		LONGITUDINAL	TRANSVERSAL				
1	sim	-	-	-	-	-	sim
2	-	-	sim	-	-	-	sim
3	sim	-	-	sim	-	-	sim
4	sim	sim	-	-	-	-	sim
5	sim	sim	-	-	-	-	sim
6	-	-	sim	-	-	-	sim
7	sim	sim	sim	-	-	-	sim
8	-	-	sim	-	-	-	sim
9	sim	-	sim	-	-	-	sim
10	sim	-	-	-	-	-	sim
11	-	sim	-	-	-	-	sim
12	sim	-	-	-	-	-	sim
13	sim	-	sim	-	-	-	sim
14	sim	sim	-	-	-	-	sim
15	-	-	sim	-	-	-	sim
16	sim	-	sim	-	-	-	-
17	sim	-	sim	-	-	-	sim
18	sim	-	sim	-	-	-	sim
19	sim	-	sim	-	-	-	-
20	sim	-	sim	-	-	-	sim
21	sim	-	-	-	-	-	sim
22	sim	sim	sim	-	-	-	sim
23	sim	-	sim	-	-	-	sim
24	sim	-	-	-	-	-	sim
25	sim	-	sim	-	-	-	sim
26	sim	-	sim	-	-	-	-
27	sim	sim	sim	-	-	-	sim
28	sim	sim	sim	-	-	-	sim
29	sim	-	sim	-	-	-	sim
30	sim	sim	-	-	-	-	sim
31	-	sim	sim	-	-	-	sim
32	sim	-	sim	-	-	-	sim
33	sim	-	-	-	-	-	sim
34	sim	sim	sim	-	-	-	sim
35	sim	-	sim	-	-	-	sim
36	sim	sim	-	-	-	-	sim
37	sim	-	-	-	-	-	sim
38	sim	-	sim	-	-	-	sim
39	sim	-	sim	-	-	-	sim
40	sim	-	sim	-	-	-	sim
41	sim	-	-	-	-	-	sim
42	sim	sim	sim	-	-	-	sim
43	sim	sim	sim	-	-	-	-
44	sim	sim	-	-	-	-	-
45	sim	sim	-	-	-	-	sim
46	sim	-	sim	-	-	-	sim
47	sim	-	sim	-	-	-	sim
48	sim	-	sim	-	-	-	sim
49	sim	sim	sim	-	-	-	sim
50	sim	sim	sim	-	-	-	sim
51	sim	-	-	-	-	-	sim

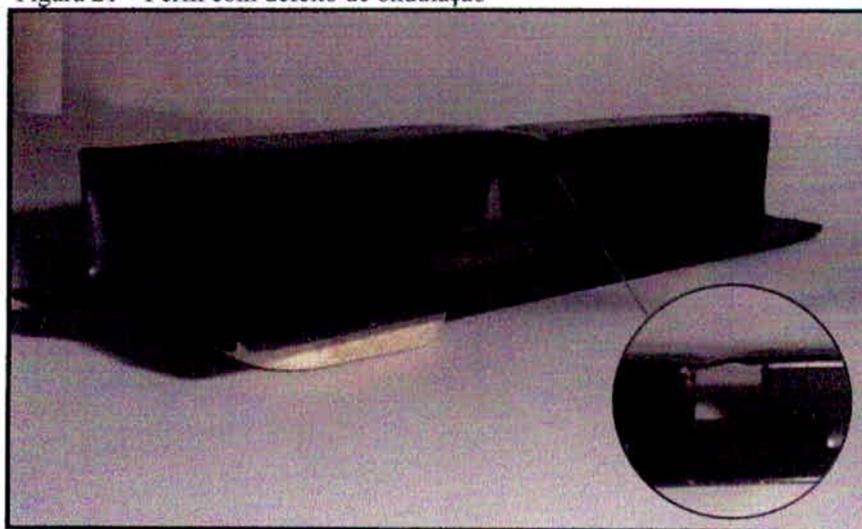
Fonte: o autor

Com esta análise é possível obter a porcentagem de ocorrências dos defeitos:

- Empenamento Lateral – 0%
- Empenamento Vertical Longitudinal – 35%
- Empenamento Vertical Transversal – 64,7%
- Erro de Abertura – 0%
- Ondulação – 88,2%
- Torção – 2,0%
- Ranhura – 90,2%

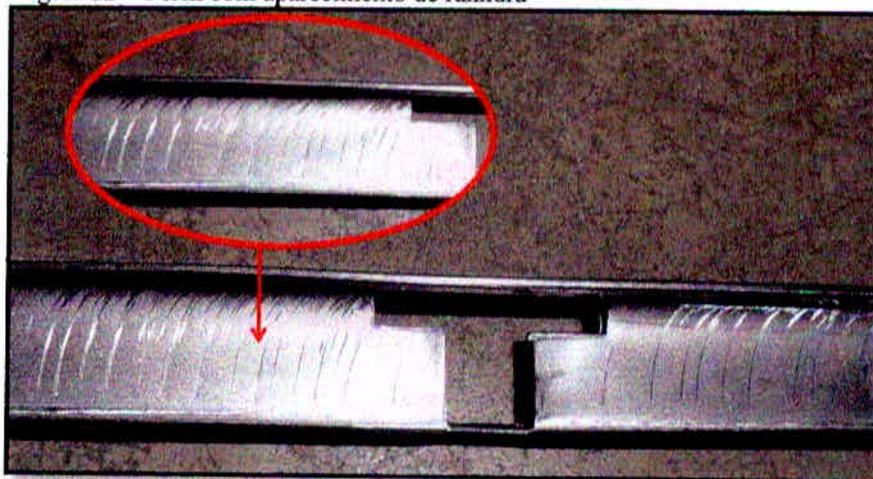
Sendo o maior índice de defeito encontrado na fabricação do perfil (figura 21):

Figura 21 – Perfil com defeito de ondulação



Fonte: o autor

Figura 22 – Perfil com aparecimento de ranhura



Fonte: o autor

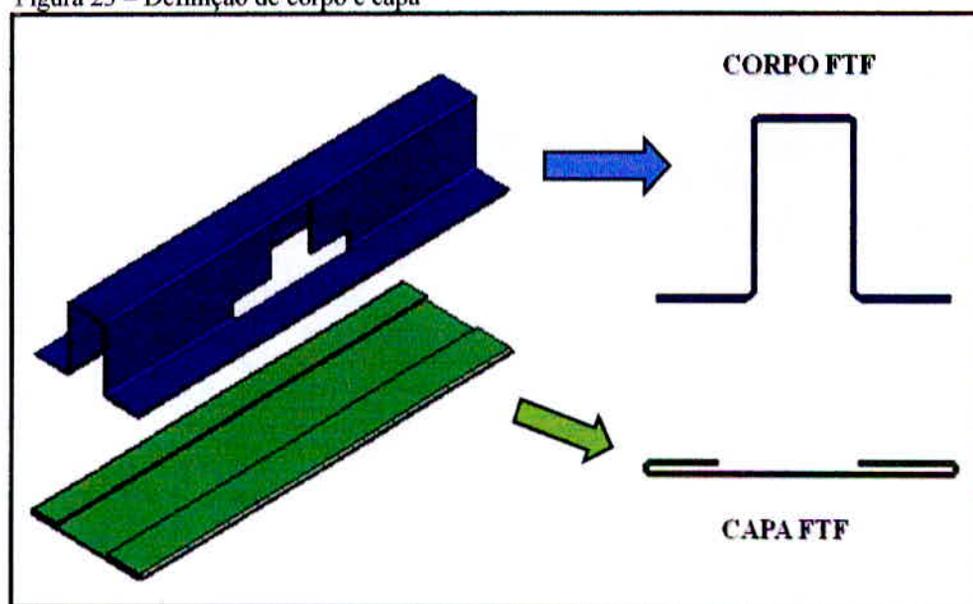
Outro fator importante encontrado na análise anterior é que houve o aparecimento de ranhuras (figura 22) ao longo do corpo do perfil em 90%, segundo Cavaguti (2005) está ocorrendo uma tensão do rolo moldador maior ou excessiva que a tensão recomendada pelo projeto. Esse defeito gerado no processo, não afeta o produto, pois recebe uma camada de tinta posteriormente.

3.2 Linha de perfilação LCR-020

O produto é confeccionado em uma determinada linha de conformação por rolos, a composição da LCR-20 (VER APÊNDICE C – Composição da LCR-020) consiste:

- A etapa de entrada é constituída por dois desbobinadores sendo uma chapa para a conformação da capa FTF e outra chapa para a conformação do corpo do FTF (figura 23);

Figura 23 – Definição de corpo e capa



Fonte: o autor

- A etapa de modelagem é composta por uma prensa pré-corte que é responsável em remover uma geometria pré-determinada na chapa do corpo do FTF (figura 24);
- A etapa de perfilagem é composta por uma perfiladeira com dez castelos sustentando os conjuntos de rolos moldadores horizontais, seu eixo de acionamento é feito através de engrenamento contínuo, cada castelo tem a potência de 1CV;

Figura 24 – Modelagem de furação da prensa pré-corte



Fonte: o autor

- A etapa de corte é composta por uma prensa de corte ajustada para garantir o comprimento ideal do perfil (figura 25).

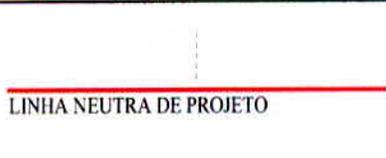
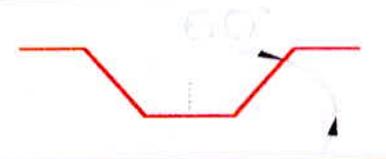
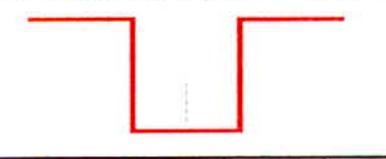
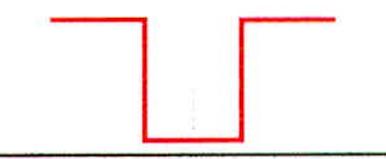
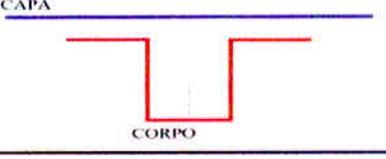
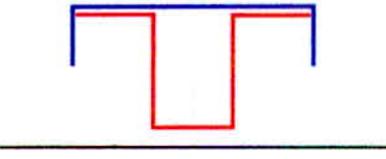
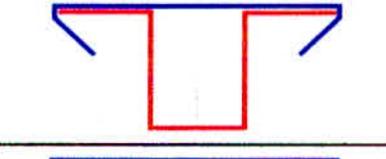
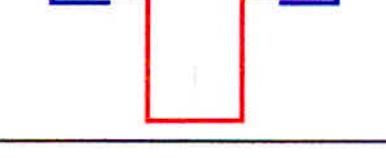
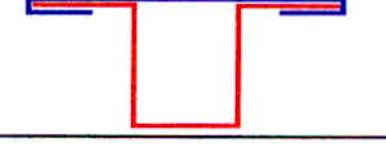
Figura 25 – Prensa de corte



Fonte: o autor

A conformação mecânica acontece ao longo dos rolos moldadores, o projeto do “diagrama flor” é demonstrado abaixo (quadro 2), sendo que o desenvolvimento do diagrama acontece em dois blanks separados, para uma análise detalhada o blank inferior é denominado corpo e o blank superior é capa do FTF. As distâncias encontradas entre castelos foi em média 315mm.

Quadro 2 – “Diagrama flor” FTF

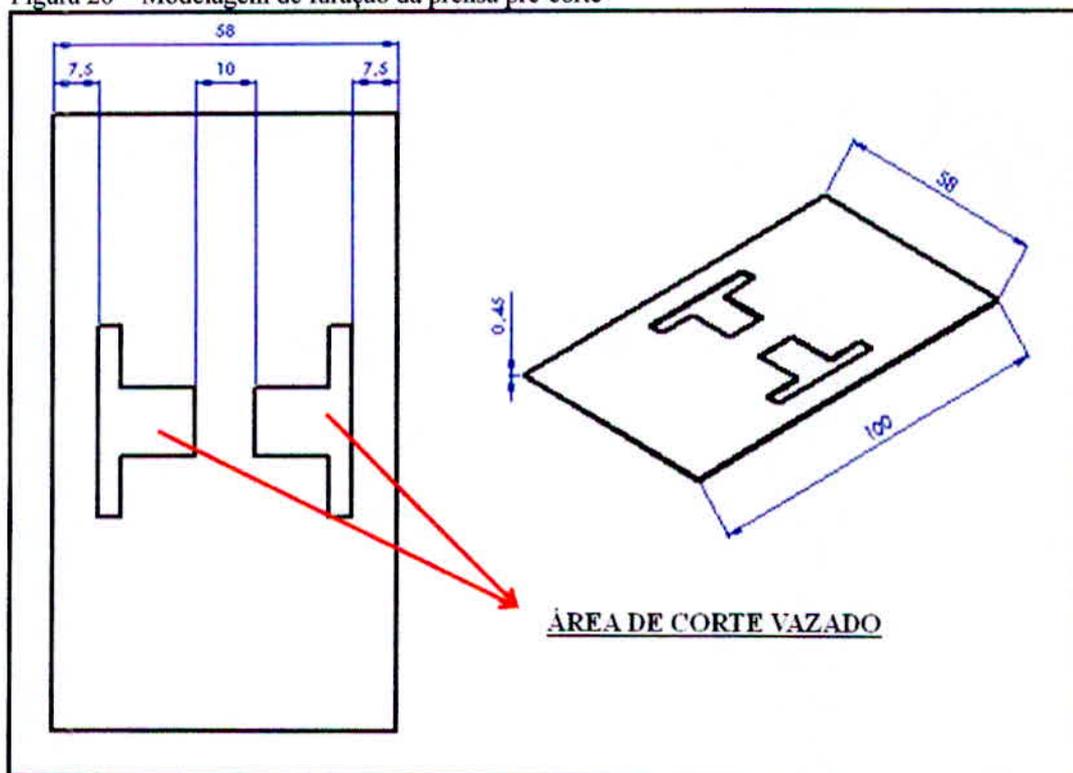
PROJETO DO “DIAGRAMA FLOR”		
ROLO MOLDADOR	PERFIL GERADO	DESCRIÇÃO
Nº1	 LINHA NEUTRA DE PROJETO	endireitador da chapa do corpo, capa alimentada livre do processo.
Nº2		o corpo é dobrado a primeira aba em 30 graus da linha neutra de projeto, capa alimentada livre do processo.
Nº3		o corpo é dobrado a primeira aba em 60 graus da linha neutra de projeto, capa alimentada livre do processo.
Nº4		o corpo é dobrado a primeira aba em 90 graus da linha neutra de projeto, capa alimentada livre do processo.
Nº5		o corpo é alimentado, capa alimentada livre do processo.
Nº6	 CAPA CORPO	o corpo é alimentado, a capa é alimentada no processo sendo endireitada pelo rolo moldador superior.
Nº7		o corpo é alimentado, a capa é dobrada em 90 graus pelo rolo moldador superior superior
Nº8		o corpo é alimentado, a capa é dobrada em grau negativo pelo rolo moldador superior.
Nº9		esmagamento parcial da capa no corpo.
Nº10		esmagamento total da capa no corpo.

Fonte: o autor

3.3 Análise de sustentação de ocorrência de ondulação

O perfil em análise apresentou o defeito de ondulação em maior escala, onde ocorre no corpo do FTF um repuxo indesejado (figura 26), influenciada pela área de sustentação que restará após o corte.

Figura 26 – Modelagem de furação da prensa pré-corte



Fonte: o autor

- Área blank:

$$A1 = 58\text{mm} * 0,45\text{mm} = 26,10\text{mm}^2$$

- Área corte vazado:

$$A2 = [58 - (7,5 + 10 + 7,5)]\text{mm} * 0,45\text{mm} = 14,85\text{mm}^2$$

- Área de sustentação:

$$As = A1 - A2 = 26,1\text{mm}^2 - 14,85\text{mm}^2 = 11,25\text{mm}^2$$

Logo teremos que:

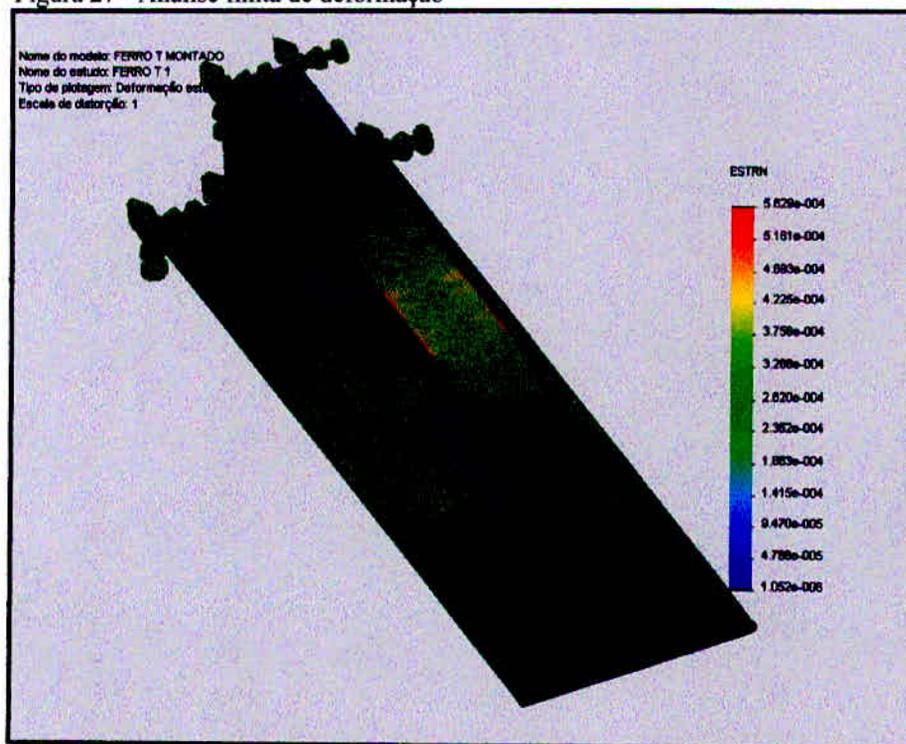
$$A_s (\%) = \left| \frac{A_2 (\text{mm}^2)}{A_1 (\text{mm}^2)} - 1 \right| * 100$$

$$A_s = \left| \frac{14,85 (\text{mm}^2)}{26,1 (\text{mm}^2)} - 1 \right| * 100$$

$$A_s = 43,10\%$$

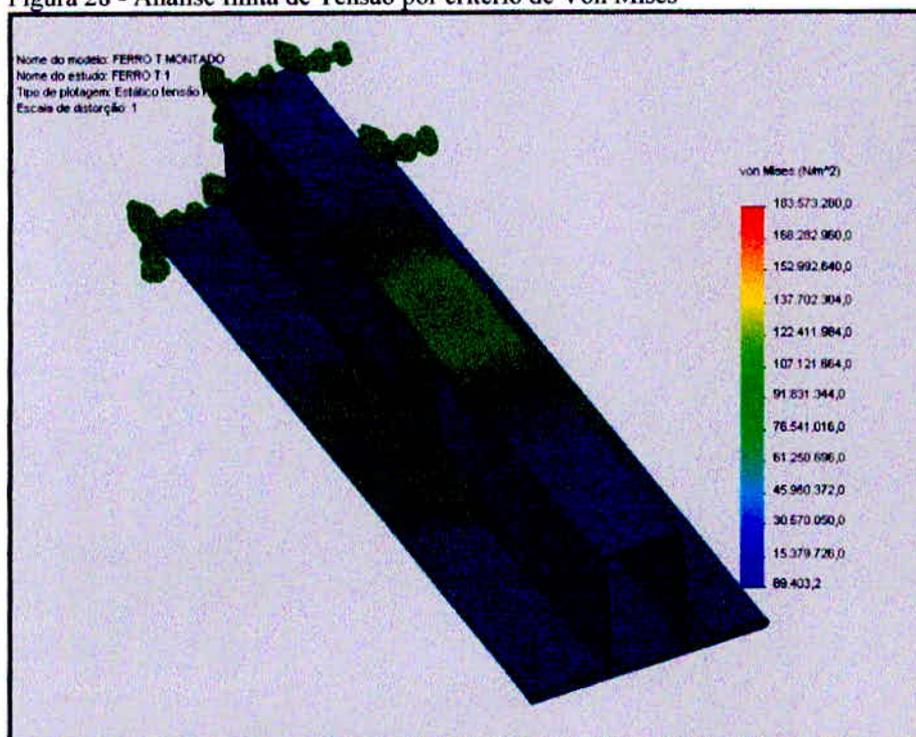
Usando o recurso computacional Solid Works desenvolvido pela Dassault Systems (Alemanha), a peça foi analisada aplicando uma força tangencial de 1000N (newtons) feita pelo rolo moldador de tração, nessa análise finita foram desconsiderados todos os atritos e perdas ocorrentes no sistema, analisando somente onde ocorrerá a maior deformação e acúmulo de tensão no perfil FTF.

Figura 27 - Análise finita de deformação



Fonte: o autor

Figura 28 - Análise finita de Tensão por critério de Von Mises



Fonte: o autor

3.4 Análise Crítica

3.4.1 “Diagrama Flor”

O projeto do “Diagrama flor” está acumulando tensões no perfil uma vez que sua dobra máxima exceda 15° (quinze graus), com esse processo a chapa não está tendo um escoamento do material adequado entre os rolos moldadores, na área do perfil onde se tem a menor área ocorreu o acúmulo de tensão, ou seja, com a análise finita através do método de Von Mises é possível ver que o perfil reage acumulando tensão no comprimento onde tem o corte vazado de material, com isso a tensão máxima imposta pelo rolo moldador nessa região é superior a tensão admissível, com a redução da área de sustentação para 43,10% ocorre o repuxo indesejado no local do corte vazado, esse fator só ocorre entre a passagem da chapa no rolo moldador número nove para o rolo moldador número dez, pela análise é possível deduzir que o rolo moldador número nove aplica uma força enquanto o rolo moldador número dez permanece estático, forçando a compressão do perfil, com isso o produto recebe uma tensão superior á tensão de trabalho, essa tensão gera uma força que é distribuída no perfil gerando o repuxo situado na área mais frágil do produto.

- Vantagem: aumento da velocidade de conformação com menos passes incrementais e ângulos de dobra mais rápidos, ajustagem de ferramental mais rápido devido a menor quantidade de roletes e castelos, custo baixo de fabricação da linha de conformação.
- Desvantagem: acúmulo de tensões no perfil, geração de defeitos como ondulação e empenamento vertical, alto índice de refugos, diminuição do rendimento da máquina.

Melhorias: desenvolver novo “Diagrama flor” menos agressivo, aumentar o número de passes dos castelos, aumentar o passe incremental entre os castelos usando dispositivos alinhadores entre eles, diminuir a velocidade de conformação.

3.4.2 Tensão excessiva

Tensão excessiva dos rolos moldadores gerou um perfil apresentando ranhuras superficiais, por se tratar de engrenamento contínuo houve também um desgaste maior nas engrenagens, usadas para transmitir a potência do motor para os eixos de transmissão, precisando de uma maior tração, os centros dos rolos excederam a folga de projeto, perdendo o diâmetro primitivo das engrenagens.

- Vantagens: limitação ou extinção do defeito conhecido como erro de abertura uma vez que a tensão aplicada seja superior à tensão de projeto.
- Desvantagem: desgaste prematuro dos rolos moldadores uma vez que a tensão exceda a folga de projeto, desgaste das engrenagens, diminuição da seção da chapa em determinadas regiões.

Melhorias: diminuição da tensão dos rolos moldadores através de reajuste, acabamento posterior ao processo de conformação com pintura, polimento, etc.

3.4.3 Diâmetro primitivo

Fator preocupante encontrado é não haver aumento gradativo dos diâmetros dos rolos moldadores, onde a velocidade permanece igual desde o primeiro rolo moldador. Para uma melhor eficiência do projeto a velocidade de cada rolo moldador tem que ser superior ao conjunto inferior gerando assim, sempre o perfil estará tracionado pelo conjunto posterior.

- Vantagem: facilidade de usinagem dos rolos moldadores, engrenagens e manutenção simples e rápida.

- Desvantagem: desgaste excessivo dos rolos moldadores, velocidades diferentes ao longo da conformação, perda de tolerância geométrica e dimensional, geração do defeito denominado ondulação.

Melhorias: desenvolver ferramental cilíndrico para máquina com transmissão via cardan, desenvolver novos rolos moldadores e engrenagens com aumento gradativo do diâmetro primitivo.

3.4.4 Meio-Ambiente

O processo gerou alto índice de refugos, que no final vai para sucata e gera um prejuízo de 84,5% para empresa e um prejuízo enorme ao meio-ambiente, uma vez que a reciclagem do refugo gerado no processo demanda bastante carvão mineral ou vegetal, em tempos que as empresas buscam meios alternativos e sustentáveis para produção de peças, produtos e serviços.

- Vantagem: Nenhuma
- Desvantagem: prejuízo para empresa na geração de sucata, degradação dos recursos minerais, alto índice de reciclagem gerando destruição da biodiversidade do planeta.

Melhorias: adequação de um novo projeto para a LCR-020, com um índice de refugos menor, controle da geração de sucata, reaproveitamento de perfis não conformes em produtos de linha popular, investir na instalação de sensores captando variação do perfil, quando ocorrer variação maior que admitida no projeto o sensor envia um sinal para o painel alertando o operador.

3.4.5 Matéria-prima

Através destas análises é possível descrever três qualidades de matéria-prima uma chapa de classe inferior de qualidade denominada no estudo como MP-C2, uma chapa de classe intermediária de qualidade denominada no estudo como MP-C1 e uma chapa de classe superior de qualidade denominada como MP-C3. Para diminuição de refugos é essencial usar a matéria-prima de alta qualidade.

- Vantagem: diminuição de refugos, aumento da qualidade superficial do produto, obtenção de tolerância geométrica e dimensional, diminuição do tempo de ajuste e manutenção.

- Desvantagem: custo elevado de matéria-prima, diminuição do lucro do produto.

Melhorias: busca de alternativas para obtenção da matéria-prima, rearranjo dos rolos moldadores, confecção de novo projeto de “Diagrama flor” para atender uma chapa de classe inferior de qualidade e custo mais baixo.

3.5 Trabalhos propostos

O processo tem vantagens e limitações, sendo que as peças conformadas por perfilação a frio possuem como característica uma alta tolerância dimensional e um alto padrão de qualidade superficial eliminando usinagens ou retrabalhos posteriores. Apresenta uma gama enorme de perfis possíveis de serem produzidos, com comprimento indeterminado, aliando se a uma alta produtividade e custo operacional baixo, ainda permitindo furos feitos ao longo do comprimento do perfil em locais pré-determinados, que seriam difíceis ou até impossíveis de serem feitos em outros processos. Sua limitação consiste em não permitir produção de peças com seções transversais que variem ao longo de seu comprimento ou que apresentem espessuras de chapas variadas no mesmo perfil. Para trabalhos futuros pode-se destacar os seguintes:

1. Adequação de perfis com furos vazados idênticos ao FTF ou com área de sustentação inferior a 50% em linhas de conformação por rolos com transmissão através de cardan.
2. Retirar engrenamento do rolo superior e aumentar tensão do mesmo sobre o rolo inferior, observando quais defeitos irá aparecer.
3. Desenvolver rolos moldadores superiores com materiais termoplásticos como baquelite, nylon, poliuretano, etc, analisando a reação do processo.
4. Simulação do processo e projeto do “Diagrama flor” em um recurso computacional através de elementos finitos como software Copra ou MSC Superflow.
5. Desenvolver uma perfiladeira com troca rápida de ferramental cilíndrico, aumentando a eficiência e produção do processo.

4. CONCLUSÃO

A conformabilidade é a ciência que analisa as propriedades de um material em alterar sua geometria, sem perda estrutural, resistência mecânica e aumento de dureza. A humanidade busca meios de explorar essa ciência que vem empregando avanços para indústrias de variados setores, entre eles em destaques estão automobilísticas e fornecedoras de produtos para a construção civil.

O avanço tecnológico trouxe vários métodos produtivos para conformar os materiais metálicos, uma vez que a demanda mundial por produtos destes só aumentam, a conformação por rolos apresenta vantagens como alto nível de precisão nos seus produtos, custo de maquinário relativamente baixo quando comparado com outros processos de conformação mecânica, alto índice de produção, facilidade de manutenção do seu ferramental, alta velocidade de conformação, porém, se não houver um adequado projeto da linha de conformação por rolos, ocasionará um alto índice de refugo.

A técnica do processo é simples, quando comparada com outros processos de conformação mecânica, desde que o processo consiste em tracionar uma chapa ao longo de rolos moldadores, sendo que cada par de rolos moldadores é responsável por uma seção determinada no perfil, porém, a produção do ferramental cilindro deve ser analisada para gerar o melhor escoamento do material ao longo da perfiladeira, pois, quando um fator de projeto não é dimensionado corretamente o produto gera defeitos dimensionais, acúmulo de tensões e imperfeições superficiais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, O. C. D. et. al. **Estudo do processo de fabricação de tubos de aço com costura**: 8º Congresso de Iberoamericana de Ingenieria Mecanica. Cusco, 2007.
- BHATTACHARYYA, D. et al. **The prediction of deformation length in cold roll forming**: Journal of Mechanical Working Technology. USA, 1984.
- BHATTACHARYYA, D. et al. **Roll forming continuous fibre-reinforced thermoplastic sheets**: Elsevier: New Zealand, 2000.
- BARBOSA, Geraldo Magela. **Processo de dobramento de chapas metálicas**: Exacta. São Paulo, v.7, 2009.
- BRANCO, Samuel Murgel. **Energia e meio ambiente**: Editora Moderna. São Paulo, Ed.1, 1991.
- BRESCIANI FILHO, Ettore et. al. **Conformação Plástica dos Metais**: Editora da Unicamp. Campinas, Ed.5, 2011.
- CAVAGUTI, Marcelo. **Simulação Numérica do processo de perfilação de chapas para minimizar o enrugamento**: Editora da Unicamp. Campinas, 2005.
- CHEN, Fuo-Kuo et al. **Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**: National Taiwan University: Taiwan, v.18, 2006.
- DALTEC, **Perfiladeiras**: Daltec Indústria Brasileira. São Paulo, 2012. Disponível em <http://www.daltec.ind.br/internas_produtos.asp>. Acesso em: 15/06/2012, 22:15:00
- HALMOS, George T. **Roll Forming Handbook**: Editora Taylor & Francis Group LLC. USA, ed.1, 2006.
- LAROUSSE, G. E. C. **Circulo do Livro S.A.**: Editora Universo Ltda. São Paulo, Ed.1, 1987.
- LINDGREN, Michael. **Modelling and simulation of the roll forming process**: Lulea University of Technology. Borlange, 2005.
- MARCONDES, Paulo V. Prestes. **Manufatura de chapas metálicas – dobramento**: Universidade Federal do Paraná, 2009.
- MULLER, Matthias et. al. **Predicting plastic deformation and work hardening during v-band formation**: University of Huddersfield Repository, UK, 2011.

PETRIMAZZA. **Perfis Perfilados:** Petrimazza, São Paulo, 2009. Disponível em <<http://www.petrimazza.com.br/produtos-chapas-aco-inox-aluminio.html>>. Acesso em: 23/05/2012, 18:03:00

SAMPLE, Joe. **Custom Part:** Sample Supplier, Nova York, 2009. Disponível em <<http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>>. Acesso em: 25/05/2012, 10:30:00

SOUZA, G. A. D. B. et al. **Técnicas para elaboração de trabalhos acadêmicos.** Grupo Unis: Varginha, 2012. Disponível em <<http://biblioteca2.unis.edu.br/manual-de-normalizacao-trabalhos-academicos>>. Acesso em: 02/06/2012, 22:15:00

USP. **Instituto de materiais de construção:** Universidade de São Paulo: São Paulo, 1997. Disponível em <http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir/PEF5736/propr_mec1.html>. Acesso em: 21/03/2012, 15:55:00

YOUNGS, Wilbur R. **Roll Forming Machine:** United States Patents, USA, 1986.

APÊNDICE A – Termo de responsabilidade

Varginha, 28 de setembro de 2012.

Prezados Senhores,

Declaramos para todos os fins acadêmicos e para servir de documento nessa faculdade, que o funcionário devidamente registrado com o número da carteira 79819 – série 00123, Mateus da Silva de Almeida desenvolveu seu trabalho de conclusão de curso com análises nos processos produtivos da empresa MGM. Sob a condição de estudante do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas Unis MG.

Sendo o que nos cumpria declarar, por ser a expressão da verdade, subscrevemo-nos atenciosamente.



Esp. Eng.º Maurício Teodoro de Mello
Gerente de Engenharia

MGM Produtos Siderúrgicos Ltda

22.541.783/0001-53

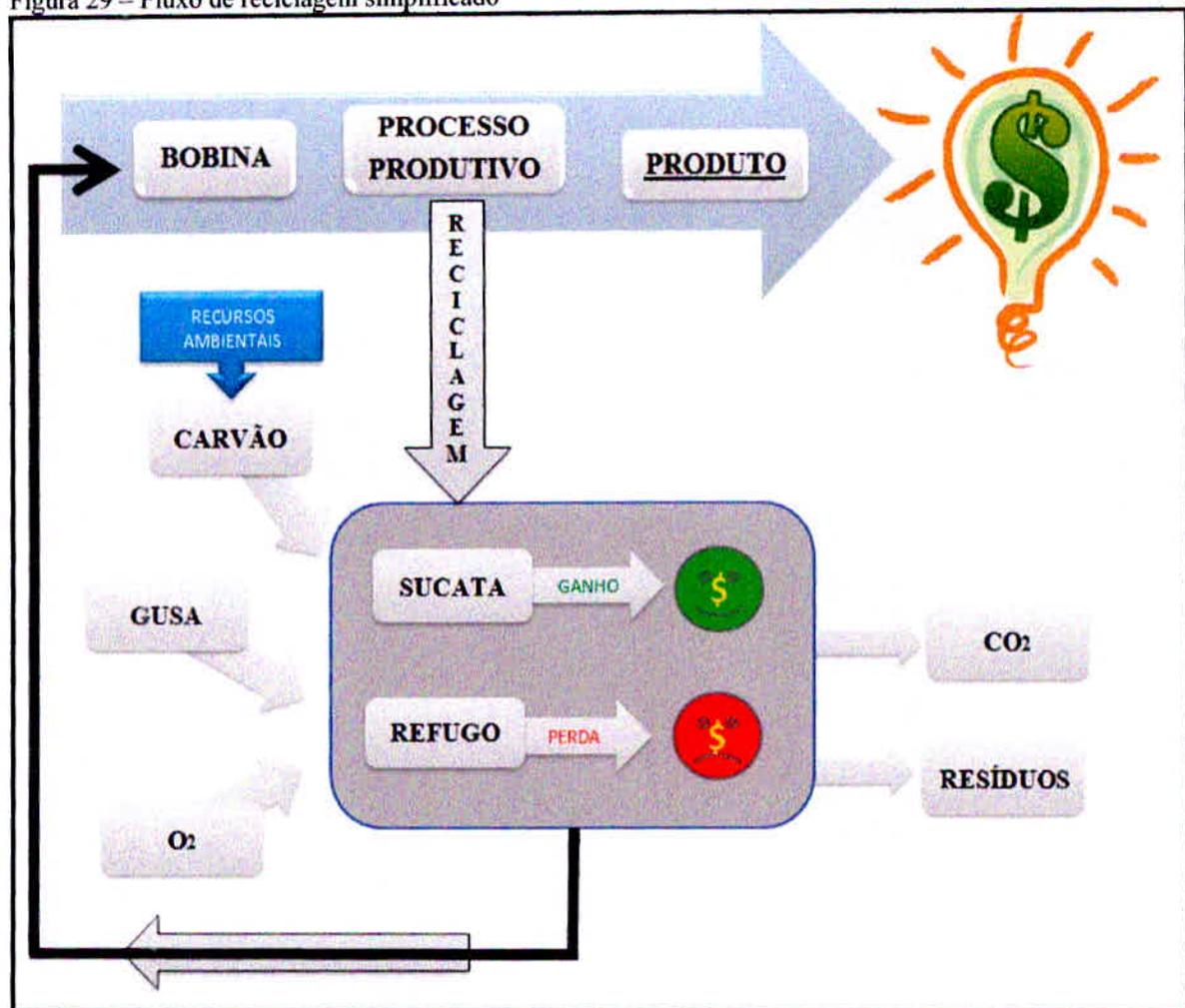
Av. Atilio Belato, 270 - Santa Cruz

Moisenhor Paulo MG

Industrial

APÊNDICE B – Fluxo de reciclagem simplificado

Figura 29 – Fluxo de reciclagem simplificado



Fonte: o autor

APÊNDICE C – Composição da LCR-020

