

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO DE MECANISMO AUXILIAR PARA POSICIONAMENTO DE FACAS DE CORTE
LONGITUDINAL NA PRODUÇÃO DE NÃOTECIDOS

por

Pedro Zulian Lunardi

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro e 2018



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE MECANISMO AUXILIAR PARA POSICIONAMENTO DE FACAS DE CORTE
LONGITUDINAL NA PRODUÇÃO DE NÃOTECIDOS

por

Pedro Zulian Lunardi

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Profa. Thamy Cristina Hayashi
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Projeto e Fabricação

Orientador: Prof. Heraldo José de Amorim

Comissão de Avaliação:

Prof. Fabiano Disconzi Wildner

Prof. Heraldo José de Amorim

Prof. Patric Daniel Neis

Porto Alegre, 14 de novembro de 2018.

LUNARDI, P. Z. **Projeto de mecanismo auxiliar para posicionamento de facas de corte longitudinal na produção de não tecidos**. 2018. 16 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

O presente trabalho descreve o projeto de um mecanismo regulável que auxiliará no reposicionamento de facas de corte longitudinal em uma máquina de corte de não tecidos. A utilização desse mecanismo na linha de produção tem como objetivo a redução do tempo de máquina parada necessário para troca da configuração de corte do não tecido. Entre as principais características necessárias para o sucesso do projeto estão o peso e a rigidez, além da capacidade de executar a função desejada. O mecanismo deve ser leve para que os operadores da linha o posicionem manualmente, mas suficientemente rígido para permitir um posicionamento preciso das facas. Atualmente, o reposicionamento das facas é iterativo, exigindo ajuste e conferência. É esperado que seja reduzido ou mesmo eliminado esse processo de iteração. Uma cronoanálise do procedimento atual de *setup* foi realizada e comparada com os resultados previstos através de simulação de movimentos, o que indicou que o equipamento irá satisfazer os requisitos de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de troca rápida de ferramenta, corte *slitter*, não tecido.

LUNARDI, P. Z. **Design of an auxiliary mechanism for positioning knives of longitudinal cutting in the production of nonwovens**. 2018. 16 pages. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

The present work describes the design of an adjustable mechanism that will assist in the repositioning of longitudinal cutting knives in a nonwoven cut machine. The use of this mechanism in the production line aims to reduce the machine downtime required to change the nonwoven cut configuration (setup). Among the main characteristics required for the success of the designed equipment are low weight and high stiffness, besides the ability to perform the desired function. The mechanism must be light for manual positioning by the line workers, but it must have enough stiffness in order to allow the accurate positioning of the knives. Currently, the repositioning of the knives is iterative, requiring adjust and conference. It is expected to reduce or even eliminate this process iteration. A chronoanalysis of the current setup procedure was carried out and compared with predicted results obtained through movement simulation, indicating that the equipment will achieve the design requirements.

KEYWORDS: Quick tool change system, slitter cut, nonwoven.

ÍNDICE

	Pág.
1 INTRODUÇÃO	1
2 PRODUÇÃO DE NÃO TECIDOS	1
2.1 Análise do processo de corte	2
2.2 Cronoanálise do reposicionamento da facas	4
3 PROJETO DO MECANISMO AUXILIAR	5
3.1 Conceito inicial do mecanismo	6
3.2 Conceito final do mecanismo	7
3.3 Análise estrutural	10
4 ESTIMATIVAS DE MELHORA	11
5 CONCLUSÃO	12
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
ANEXO I	13

1. INTRODUÇÃO

A produtividade de uma máquina ou linha de produção é intrinsecamente proporcional ao tempo em que esta permanece produzindo. Com a intenção de maximizar o tempo disponível de máquina, muitas indústrias optam por operar em regimes ininterruptos de produção, com turnos intercalados de funcionários. Porém, do tempo total disponível apenas uma parte efetivamente se converte em produção de bens que trazem lucro para a empresa. As parcelas restantes, geralmente, são consumidas por paradas de máquina devido à manutenção, falhas de processo que geram refugo e por operações *desetup* de máquinas e trocas de ferramenta. A troca rápida de ferramentas abordada como fator de aumento da produtividade é um dos pilares do sistema Toyota de produção e conforme descrito por Shingo, 1983, o tempo de *setup* de uma máquina pode ser dividido em dois: interno e externo. O tempo interno é todo aquele em que a máquina permanece parada ou em transição entre as configurações onde o que é produzido não é comercializável. O externo é o tempo gasto enquanto a máquina permanece produzindo, geralmente associado ao tempo de preparação das ferramentas e da equipe antes de iniciar o *setup*.

A metodologia proposta para o crescimento da produtividade através do aumento da eficiência do procedimento de *setup* se inicia pela análise do processo, onde são observadas quais etapas envolvem tempo interno ou externo à máquina. Os procedimentos são reorganizados com a finalidade de agrupar todas as etapas de tempo externo e realizá-las antes de parar a máquina. Os novos sequenciamentos de operações podem ser novamente analisados e melhorados, caso possível. Espera-se obter com isso não apenas uma maior disponibilidade de máquina, mas por consequência uma alteração no ritmo produtivo da fábrica. Em comparação a uma linha produtiva que exige um tempo longo de parada para *setup*, uma linha onde esse processo é mais rápido pode apresentar vantagens em relação a flexibilidade no atendimento aos pedidos dos clientes, menor estoque de produtos acabados e de matérias primas e a capacidade de incluir novos produtos no catálogo da empresa.

Neste trabalho, buscou-se aplicar a filosofia de troca rápida de ferramenta no processo de posicionamento das facas de corte longitudinal utilizadas na produção de não tecidos. Para tanto, foi projetado um mecanismo que auxilia na determinação das distâncias entre as facas. O frequente reposicionamento das facas é realizado com a máquina de corte parada durante todo o processo. A partir da utilização do mecanismo desenvolvido, espera-se transferir parte do tempo interno de *setup* para tempo externo.

2. PRODUÇÃO DE NÃO TECIDOS

Uma linha de produção de não tecido é dividida em três grandes partes: extrusão, corte e embalagem. Simplificadamente denominada de extrusão, a formação da manta de não tecido é um processo complexo. De forma sincronizada, uma série de máquinas atua na transformação do polímero virgem e aditivos no produto dito acabado, uma vez que o corte e a embalagem não alteram nenhuma propriedade do material. Primeiramente, os pellets de polipropileno (PP) são dosados em uma extrusora, onde ocorre a fusão do polímero e a formação de filamentos que são dispostos aleatoriamente sobre uma esteira. Essa etapa é responsável por atribuir a cor e a gramatura ao produto. A esteira conduz o material a uma calandra, que consolida os filamentos em uma manta. As máquinas subsequentes à calandra podem ou não serem utilizadas, conforme as especificações do não tecido que se está produzindo. Uma sequência de resfriamento, aplicação de surfactante e cura pode se empregada para se obter diferentes características físicas. A última etapa é o enrolamento da manta em um eixo chamado de rolo jumbo, que pode atingir 3 metros de diâmetro e largura fixa de 4,5 m devido à constituição da linha de produção. Após o rolo jumbo atingir o comprimento desejado é realizado, de forma automatizada, o corte transversal da manta, que passa a ser enrolada em um novo eixo sem que a extrusão seja interrompida.

Ao final da extrusão o rolo jumbo é direcionado a um *buffer* ou, se possível, diretamente para a máquina de corte. O processo de corte utilizado é conhecido pelo nome comercial de

slitter. Esse sistema é composto por facas e contrafacas, que são lâminas circulares rotativas que, aos pares, se encontram em um ponto e cortam o não tecido por cisalhamento, como ilustrado na Figura 2.1.

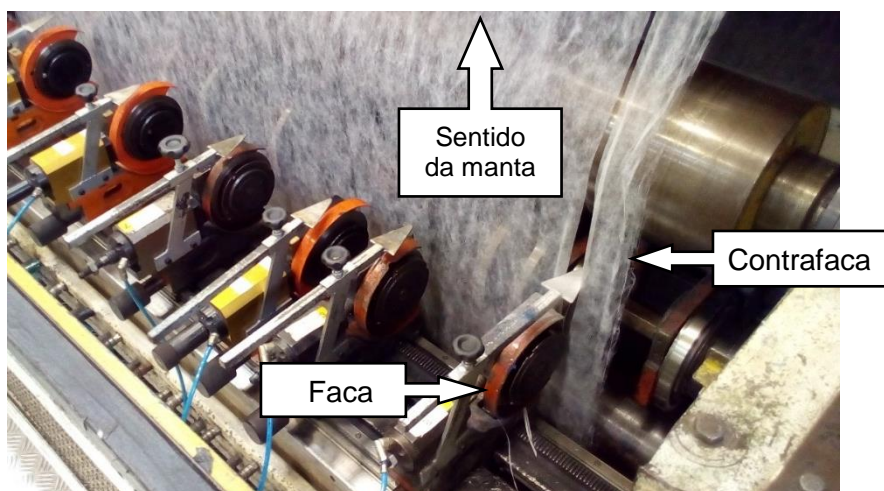


Figura 2.1 – Máquina de corte da linha de produção.

As facas são dispostas na parte frontal da máquina, enquanto as contrafacas são posicionadas na parte posterior. A manta passa entre elas, sendo cortada longitudinalmente e então enrolada em tubos de papelão formando bobinas. A disposição dos conjuntos de facas é ajustada conforme a largura das bobinas que se deseja obter da manta. Cada par de lâminas é posicionado individualmente e pode ou não ser acionado, ou seja, não é necessário que todas as facas e contrafacas operem em todos os cortes.

Devido à natureza aleatória da acomodação das fibras durante o primeiro estágio da produção, as laterais da manta são irregulares, não apenas na dimensão, mas também quanto à união das fibras e gramatura. Conseqüentemente, cerca de 15 centímetros de cada lado do rolo jumbo são descartados como aparas no corte. Assim, o posicionamento de cada conjunto de faca, interno às aparas, interfere na dimensão de duas bobinas adjacentes. Caso seja constatado que alguma bobina foi cortada em uma largura diferente do que foi especificado a mesma é classificada como refugo e destinada para reciclagem. Por conta desses fatores, cerca de 10% em massa de tudo que é processado pela linha de produção é destinado para a reciclagem como refugo. As bobinas que são aprovadas pelo controle de qualidade são encaminhadas para a embaladora. A última etapa da produção contempla o processo de embalagem das bobinas em filme *stretch* e etiquetagem do produto. Finalizados todos os processos, as bobinas passam a ser gerenciadas pelo setor de logística, que as encaminham para os clientes conforme os pedidos.

2.1. Análise do processo de corte

Estudos anteriores acerca da linha de produção constataram que o processo de corte é o gargalo de toda a cadeia produtiva. Dessa forma, esforços foram gastos visando otimizar os parâmetros de processo e alcançar a máxima produtividade da linha. Contudo, o tempo de ciclo do corte de um rolo jumbo permanece como sendo o gargalo produtivo que dita a velocidade das demais máquinas e, por conseguinte, a capacidade produtiva da linha como um todo. Buscando a diminuição desse tempo, o processo de corte foi analisado isoladamente. Entre as subtarefas que compõem a operação da máquina de corte que são realizadas com a máquina parada, a que apresentou maior impacto negativo sobre o tempo de ciclo é o ajuste das facas de corte.

Para que os conjuntos de facas sejam reposicionados é necessário que o operador remova as proteções físicas amarelas de segurança da máquina apresentadas na Figura 2.2. Cada conjunto faca e contrafaca se move lateralmente por uma combinação em paralelo de guias lineares e cremalheira e é travado em posição por um sistema simples de parafuso de aperto manual, como ilustra a Figura 2.3.

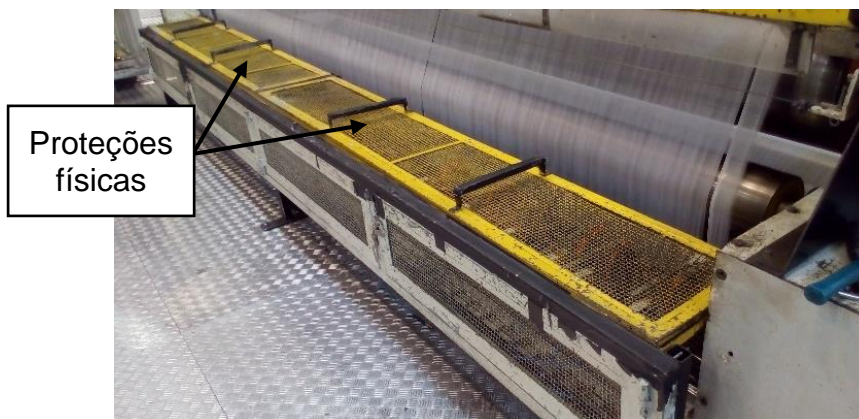


Figura 2.2 – Proteções físicas.

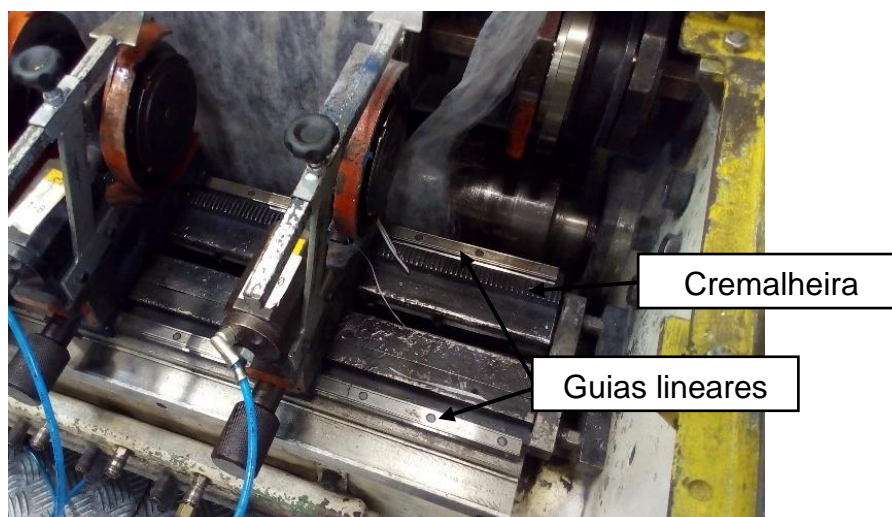


Figura 2.3 – Guias das facas.

As facas das extremidades, responsáveis por cortar as aparas, têm seu lugar predeterminado e permanecem mais tempo fixas e acionadas do que as demais. Isso gera um maior desgaste das lâminas, que precisam ser substituídas com mais frequência. Portanto, apesar delas contarem com marcações que auxiliam no rápido posicionamento, não escapam da necessidade de serem movidas diversas vezes. As facas externas são os pontos de referência utilizados no posicionamento das facas internas, uma vez que são as responsáveis por determinar a largura útil da manta.

O procedimento de ajuste se inicia pelas contrafacas e somente após todas que serão utilizadas estarem em posição é que as facas são movidas e posicionadas de encontro aos seus respectivos pares. Com o auxílio de uma trena certificada, o operador mede a distância e move manualmente a contrafaca até a posição desejada. A posição de cada uma delas é sempre medida em relação à anterior. Após todos os conjuntos estarem em posição é realizado um teste, onde a máquina é acionada por alguns segundos e algumas voltas de material cortado são enroladas nos tubos de papelão. É então medida a largura das tiras de não tecido recém cortadas e, caso necessário, realizado um ajuste fino. É essencial que essa conferência seja realizada, dado que a trena sofre flexão devido ao próprio peso durante o

posicionamento das contrafacas, contribuindo para a ineficiência do processo. Esse efeito é proporcional à distância entre os pontos de medição e afeta, principalmente, os casos com menos facas acionadas, visto que o espaçamento entre elas é maior. Outra imprecisão associada ao uso de trenas é conhecido como erro de arco cosseno, que se deve a um desalinhamento entre a distância que deve ser medida e a linha de posicionamento da trena. Se a fita da trena não estiver perpendicular em relação aos planos das faces das contrafacas o valor lido será maior que o real.

Um dos parâmetros de processo fundamentais para a produção é o tensionamento longitudinal exercido na manta, pois é necessário que as bobinas cortadas tenham certa rigidez para que possam ser manuseadas e transportadas sem que se amassem ou escapem do tubo de papelão. A regulação desse parâmetro é influenciada pela gramatura do não tecido e pela velocidade de corte. Esse tensionamento é responsável também pelo efeito indesejado de deformação transversal, análogo ao efeito de Poisson na deformação de materiais metálicos. Quando observada que essa situação está afetando o produto além da tolerância dimensional aceita, é realizado o ajuste fino nas facas a fim de compensar a variação. Nesse caso, além do uso da trena o operador conta com sua própria experiência e sensibilidade. Todo esse procedimento é iterativo e repetido quantas vezes forem necessárias até que o objetivo seja alcançado. Por fim, as proteções físicas são restabelecidas à máquina e o ciclo automatizado de bobinamento iniciado.

Após o primeiro ciclo de corte de bobinas de cada novo reposicionamento das facas, o inspetor de qualidade (IQ) que atua na linha de produção realiza a inspeção das bobinas cortadas antes que o próximo ciclo inicie. Conforme procedimento interno da empresa, todas as bobinas do primeiro ciclo são medidas e qualquer uma que apresente largura fora da tolerância de ± 2 mm do valor nominal deve ser segregada como refugo. Caso isso ocorra, o posicionamento das facas deve ser corrigido e o ciclo de corte seguinte passa pelo mesmo procedimento de inspeção. Caso o IQ não esteja disponível, o corte permanece parado até que as larguras das bobinas sejam validadas.

2.2. Cronoanálise do reposicionamento da facas

Foram analisados os dados registrados durante a produção de um mês típico, incluindo o número de ajustes realizados, o número de conjuntos de faca e contrafaca empregado em cada ajuste e o tempo gasto no processo desde a abertura até o fechamento das proteções físicas. Foram excluídos da análise turnos de produção em que a máquina permaneceu inoperante e turnos em que não houveram ajustes de faca. Na Tabela 2.1 pode ser vista a compilação dos dados coletados.

Tabela 2.1 – Dados referentes ao ajuste de facas durante um mês de produção.

Totais		Médias	
Turnos	30	Ajustes/Turno	2,6
Ajustes	77	Facas/Ajuste	4,7
Facas	361	Minutos/Ajuste	22,2
Minutos	1711	Minutos/Faca	4,7

No total foram analisados 30 turnos de produção, onde houveram 77 ajustes de facas. Somou-se o número de facas ajustadas em cada uma das vezes, assim como os minutos gastos em cada ajuste para que fossem calculadas as médias de número de ajustes por turno de produção, número de facas por ajuste, minutos gastos por ajuste e minutos gastos por faca. Os mesmos dados também foram analisados pelo número de facas ajustadas, número de ajustes com determinado número de facas, a soma dos minutos gastos ajustando-se um determinado número de facas e a relação média entre o tempo gasto pelo número de facas ajustadas, como apresenta a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Dados considerando o número de facas ajustadas.

Número de facas	Número de ajustes	Total de minutos	Minutos/Ajuste
3	31	480	15,5
4	33	715	21,7
5	3	89	29,7
6	2	65	32,5
9	3	122	40,7
10	1	42	42,0
13	2	95	47,5
23	2	103	51,5

Com base nesses dados foi possível construir um gráfico relacionando o tempo necessário para o ajuste em função do número de facas (Figura 2.4), onde é observado um comportamento assintótico para a relação entre o tempo gasto no ajuste das facas de corte e o número de facas ajustadas durante essa operação.

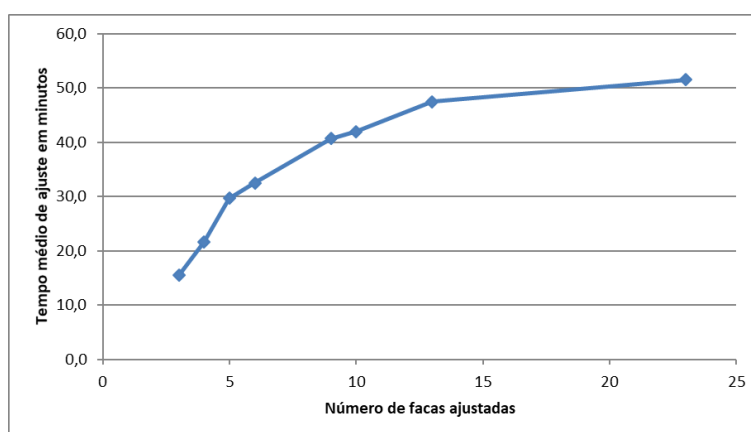


Figura 2.4 – Tempo médio de ajuste em função do número de facas.

O comportamento do gráfico pode ser explicado pelo fato de que para um número pequeno de facas em um ajuste, a distância entre elas é grande e o erro associado à medição é maior. Sendo assim, é necessário que o operador repita mais vezes o processo de ajuste fino nos posicionamentos em comparação com o que seria necessário para um número maior de facas. Na situação em que foram ajustadas 23 facas em um mesmo corte, foram cortadas 10 bobinas de 200 mm e 12 de 175 mm. Essa proximidade facilita a medição do espaçamento e o ajuste fino das posições ocorre mais rapidamente, em vista que a deformação transversal de cada uma é desprezível em muitos dos casos.

3. PROJETO DO MECANISMO AUXILIAR

A partir desse estudo foi proposta a criação de uma ferramenta para ajuste rápido das facas, que consiste de um gabarito que servirá para indicar a posição que cada uma das facas de corte deve assumir. Assim como as facas são livres para assumirem qualquer posição ao longo de suas guias, esse mecanismo deve ter a capacidade de ser regulável para atender a todas configurações de corte. Espera-se que com o uso dessa ferramenta o tempo de máquina parada que o operador precisa para realizar o *setup* das facas diminua, acarretando em um ganho real de tempo. Esse ganho, que inicialmente será notado no tempo de ciclo do corte de um rolo jumbo, após certa adaptação da linha de produção, poderá gerar um aumento na velocidade de extrusão e, por conseguinte, um aumento da capacidade produtiva de toda alinha.

O procedimento de ajuste dos conjuntos de facas de corte utilizando o mecanismo foi idealizado envolvendo a preparação do gabarito e a movimentação das facas. Entre os ciclos de corte de bobinas o operador dispõe de tempo ocioso, que seria utilizado preparando o gabarito para o próximo arranjo a ser cortado. Após remover as proteções físicas da máquina o gabarito seria inserido nos apoios próprios e, seguindo o procedimento atual, as contrafacas rapidamente movidas até os pontos indicados seguidas pelos seus respectivos pares de facas. O gabarito é então removido da máquina e os testes das larguras cortadas, assim como os ajustes finos necessários, realizados. Esse novo procedimento visa diminuir o tempo interno de *setup*, convertendo parte do processo em tempo externo.

3.1. Conceito inicial do mecanismo

O primeiro conceito foi pensado tendo em vista o espaço físico disponível na máquina de corte e as funcionalidades básicas que o dispositivo deve atender. Foi estabelecido que a melhor solução deveria ter uma forma básica pouco profunda para que o acesso às contrafacas não fosse restringido. Além disso, é necessário que o comprimento do dispositivo seja igual ao da máquina, pois as facas das extremidades são fundamentais em todos os ciclos, e possuir batentes que se movam ao longo da estrutura para indicar as posições das facas. Partindo dessas premissas surgiu a primeira versão do projeto que foi desenhada em um *software* 3D. Na Figura 3.1 pode ser vista a primeira configuração do projeto.

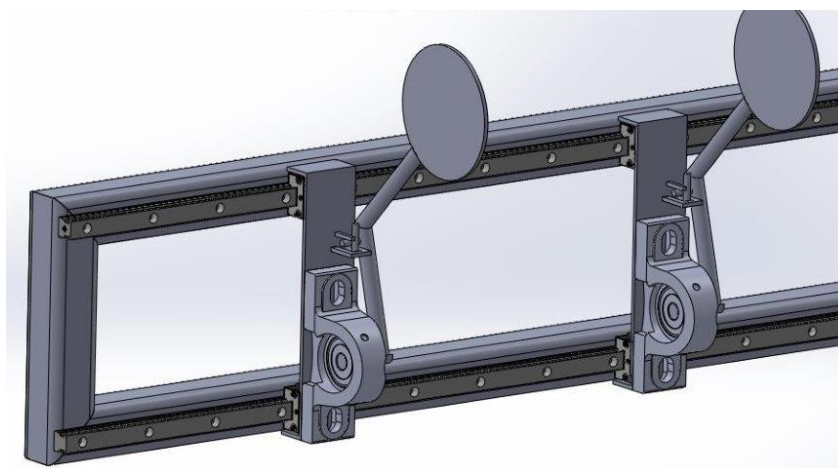


Figura 3.1 – Primeira versão do dispositivo de troca rápida de ferramenta desenvolvido.

Foi projetado um pórtico retangular formado por perfis quadrados de aço que serviria de base para a fixação de guias lineares semelhantes às presentes na máquina de corte. Movendo-se por essas guias, cada um dos carros seria composto por uma chapa de aço que abrigaria os patins das guias, o mancal do braço e a trava do braço. Apesar de ser essencial, nessa etapa do projeto não chegou a ser concebido nenhum sistema de freios para manter os carros em posição. O braço móvel com o batente circular na extremidade foi projetado dessa forma para que, quando não fosse utilizado, permanecesse na posição vertical e quando o gabarito fosse inserido na máquina não colidisse com as contrafacas.

Esse primeiro conceito foi rejeitado devido, principalmente, ao peso e aos custos envolvidos na fabricação. Entretanto, foi de grande valor para o projeto, pois instigou uma análise mais detalhada de quais fatores são preponderantes para o sucesso do dispositivo, considerando-se tanto a fabricação quanto a manutenção e, acima de tudo, a inserção do uso da ferramenta na rotina da produção. Dessa forma, foi estabelecida uma lista de características desejadas visando salientar quais pontos deveriam ser priorizados, bem como a hierarquia entre eles. Foram elencadas como características de primeira importância o peso, a rigidez e a praticidade no uso.

A evolução do projeto ocorreu visando o aprimoramento de cada um dos componentes. Foram sugeridas e avaliadas diversas soluções e formas construtivas para os elementos do projeto e as interações entre eles. Os braços dos batentes, por exemplo, em sua primeira forma eram sustentados por mancais. Para diminuir o peso e o custo das peças, cada mancal foi substituído no projeto por um par de tubos cilíndricos concêntricos, onde o externo seria fixado ao carro e o interno ao braço, permitindo o movimento de rotação. Esse componente foi novamente revisto e os tubos cilíndricos foram substituídos por tubos de seção quadrada. Nesse conceito os braços seriam inteiramente removíveis dos carros quando não estivessem em uso, dispensando a necessidade do movimento de rotação. Desse modo, a trava do braço se tornou desnecessária, sendo então eliminada do projeto. Na versão final do projeto, a forma e as dimensões do braço e do batente foram alteradas e os dois elementos fundiram-se em uma peça única, aumentando a eficiência do projeto e facilitando o procedimento de montagem. Os tubos foram removidos do projeto e os batentes passaram a ser fixados nos carros.

3.2. Conceito final do mecanismo

Considerando-se que o gabarito será movimentado manualmente pelos operadores do corte em média três vezes por turno, o peso total é o fator de maior relevância. Isso afeta diretamente questões ergonômicas relacionadas à saúde e segurança ocupacional que são, por definição absoluta da empresa, a primeira prioridade em qualquer situação. A rigidez de todo o conjunto deve ser adequada, pois espera-se obter um posicionamento preciso das facas de corte. O gabarito deve garantir que as medidas conferidas a ele sejam transmitidas com exatidão para que menos tempo seja gasto com ajustes finos e conferências. A praticidade no uso é um fator que abrange o conceito inicial do projeto de agilizar o processo de posicionamento das facas de corte, ou seja, precisa ser um sistema mais rápido do que o que existe hoje. Além disso, entende-se também por prático um mecanismo que seja intuitivo e fácil de ser manuseado. Esse conceito foi priorizado visando-se a aceitação e aderência dos operadores à utilização do mesmo.

Aspectos secundários que também influenciaram o projeto foram a baixa manutenção, o custo e a adaptabilidade. Prevendo-se que existirão esforços e possíveis danos aos quais o gabarito estará sujeito com o uso repetitivo buscou-se, a fim de minimizar os custos e o tempo com manutenção, selecionar componentes padronizados e elementos de fixação não permanentes já disponíveis no almoxarifado da empresa. O custo final é um fator determinante para a execução do projeto, por isso uma estimativa de *payback* foi calculada inicialmente com base em uma projeção de tempo de ciclo de corte. A partir desse dado foi estabelecida uma meta orçamentária para construção do mecanismo. Em paralelo ao peso, todos os elementos que integram o projeto tiveram seus preços mensurados. Em vista de um resultado favorável em relação à meta e ao retorno esperado esse fator adquiriu uma relevância inferior ao longo do projeto. Contando com a possibilidade de se estender esse projeto às demais máquinas de corte da empresa, o gabarito foi pensado de forma que a geometria básica pudesse ser facilmente adaptada às diferentes condições de espaço e estruturação das outras linhas de produção.

Durante o desenvolvimento do projeto diversas soluções foram avaliadas com o propósito de se atender às características principais e secundárias descritas. O recurso utilizado para movimentação lateral dos carros foi pensado de forma que fosse integrado à estrutura base do gabarito. Estudou-se diferentes configurações e geometrias de trilhos e suas interações com rodas ou elementos deslizantes de construção personalizada e a capacidade que cada mecanismo apresentou de restringir adequadamente os demais movimentos indesejados dos carros. Foi de forte influência para a tomada de decisão a facilidade de construção, pois pode ser necessário que no futuro os carros sejam substituídos e não é vantajoso que essa reposição seja cara, demorada ou que necessite de ajustes. O elemento responsável pelo travamento dos carros na posição adequada foi de igual modo voltado a ser parte integrante do mecanismo de movimentação lateral. Assim, é esperada a redução do número de peças, bem como da complexidade de montagem e operação. Apesar da

mobilidade dos batentes ser uma característica pertinente da primeira versão do projeto, o peso e o custo associado aos mancais tornou essa funcionalidade inviável. Das outras formas de se realizar esse movimento que foram ponderadas nenhuma se destacou como satisfatória, sendo descartadas igualmente pelo peso ou pela facilidade de adquirir folgas devido ao uso. O formato do batente, que inicialmente seguia a forma e a dimensão da lâmina da contrafaca, foi alterado para um elemento retangular de menor largura. A ausência de folgas no movimento das contrafacas em suas guias lineares possibilitou que a face do batente fosse reduzida sem prejuízo à interação desses elementos ou ocorrência de desalinhamentos.

A versão final do projeto do gabarito, ilustrada na Figura 3.2, é constituída por uma base e carros móveis.

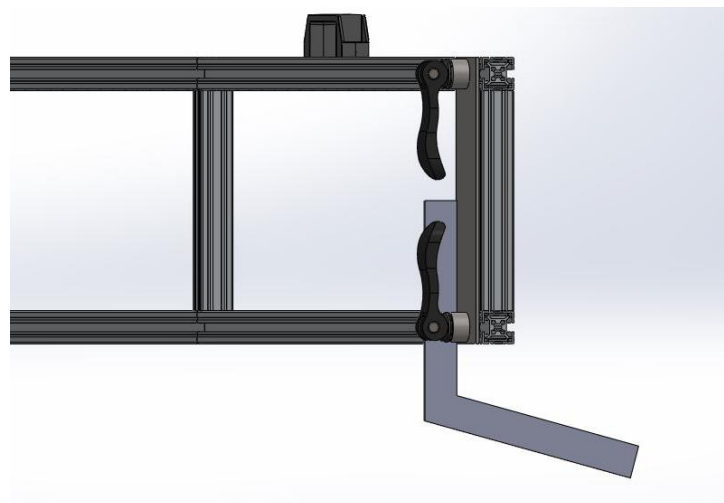


Figura 3.2 – Versão final do projeto.

A base é formada por duas barras horizontais de 4,5 m, cinco barras verticais de 0,2 m e quatro alças de apoio unidas por parafusos. As alças são fabricadas em *nylon* e utilizadas na movimentação do mecanismo. Todas as barras da base são do mesmo perfil estrutural de liga de alumínio 6063, ilustrado na Figura 3.3. Os canais presentes nas laterais das barras horizontais exercem a função de trilhos para os carros que conduzem os batentes.

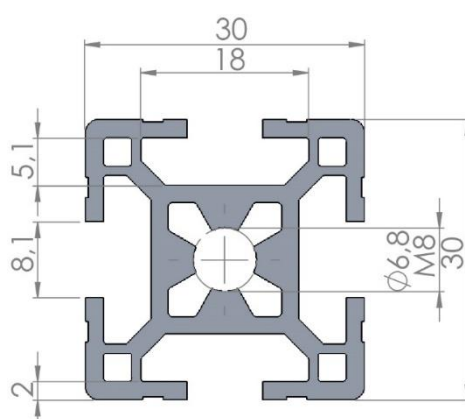


Figura 3.3 – Perfil de alumínio estrutural utilizado. Fonte: www.loja.forsetisolucoes.com.br

Cada carro é composto por uma chapa de aço retangular de 100 x 260 x 1,5 mm e um batente fixo de mesma espessura. Alinhados no eixo vertical de cada carro estão presentes dois espaçadores que acomodam um par de blocagens. Essas são constituídas por alavancas de came conectadas a porcas retangulares. Os desenhos técnicos das porcas e das alavancas são apresentados, respectivamente, nas Figuras 3.4 e 3.5.

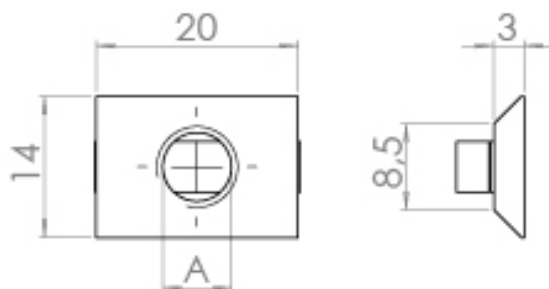


Figura 3.4 – Porca retangular. Fonte: www.loja.forsetisolucoes.com.br

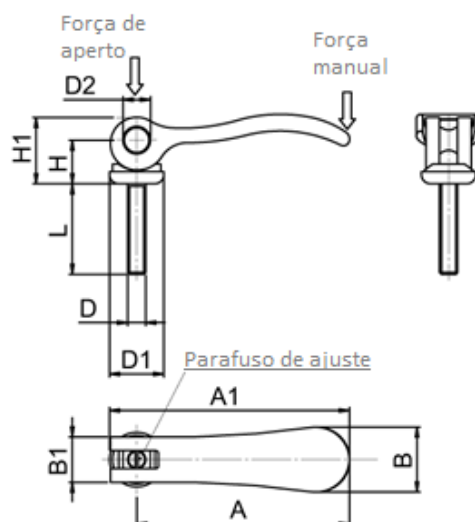


Figura 3.5 – Alavanca de came. Fonte: www.wdscomponents.com.br

O furo de diâmetro "A" da porca apresenta rosca interna no padrão M8 e as dimensões da Figura 3.5 encontram-se no Anexo I. As alavancas, quando livres, permitem que o carro seja movido ao longo da base e, quando acionadas, fixam o carro na posição devido ao movimento de pinça que promovem entre os carros e porcas no perfil de alumínio. O parafuso de ajuste presente na alavanca permite que seja controlada a força de aperto exercida no acionamento. As porcas retangulares entram nos canais das barras horizontais da base pela extremidade e, assim, unem os carros à base mantendo apenas o movimento horizontal livre. A montagem desses elementos é ilustrada na Figura 3.6.

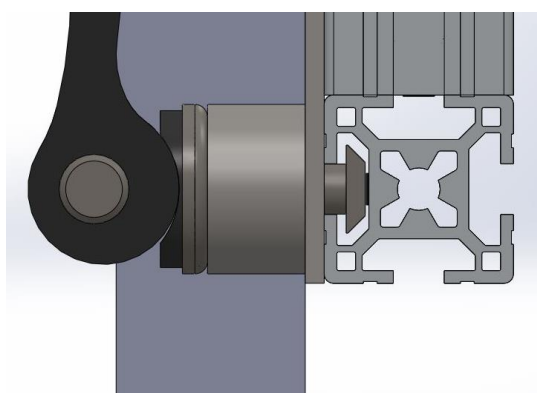


Figura 3.6 – Detalhe do encaixe entre o carro e a base.

A possibilidade de remover os carros do mecanismo traz a vantagem de eliminar as interferências entre os batentes que não estão sendo utilizados e as demais contrafacas da máquina, corroborando a decisão de manter os batentes fixos aos carros. Além disso, favorece

a redução do peso do gabarito na maior parte das situações. Provenientes do mesmo fabricante do perfil de alumínio, as porcas têm dimensões adequadas para deslizar pelos canais do perfil. Elas contam também com uma mola na parte inferior que exerce pressão suficiente para compensar o peso próprio e conter movimentos inesperados.

A estrutura base do gabarito será graduada, possibilitando que os carros sejam posicionados sem o uso de uma trena. Isso torna a medição das distâncias entre os carros mais precisa, pois elimina os erros de medição derivados da deformação e do mal alinhamento da trena.

3.3. Análise estrutural

A estimativa do peso do mecanismo se deu pela soma dos pesos individuais de cada um dos componentes. Para os casos do perfil de alumínio e alavanca de came os fabricantes disponibilizam as massas como parte das especificações dos produtos. Para o corpo principal dos carros, batentes, alças de apoio e porcas foi utilizada a ferramenta presente no *software* de desenho 3D que mensura o volume da peça e calcula a massa com base na densidade do material. Os parafusos, arruelas e cordões de solda foram desprezados. A Tabela 3.1 apresenta as estimativas das massas para os componentes e a massa total do mecanismo.

Tabela 3.1 – Estimativas das massas.

Componente	Quantidade	Massa unitário (kg/uni.)	Massa total (kg)
Perfil de alumínio	10 (m)	0,965	9,6
Alavanca	50	0,115	5,8
Carro	25	0,557	13,9
Batente	25	0,268	6,7
Porca	58	0,005	0,3
Alças de apoio	4	0,038	0,2
Total			36,5

Para um melhor aproveitamento do gabarito é desejado que não haja restrições de posicionamento dos batentes em virtude de pontos de apoio. Dessa forma, o mecanismo será sustentado apenas pelas extremidades quando inserido na máquina de corte. Essa configuração poderia tornar o sistema impreciso caso estivesse sujeito a elevada deformação. Foi realizada uma análise estrutural baseada no modelo de viga biapoada para avaliação da deformação. Não sendo esperados esforços externos nem cargas dinâmicas, o peso próprio é o único carregamento a que está sujeita a estrutura do gabarito. Ilustrado na Figura 3.7 o diagrama de esforços para essa situação.

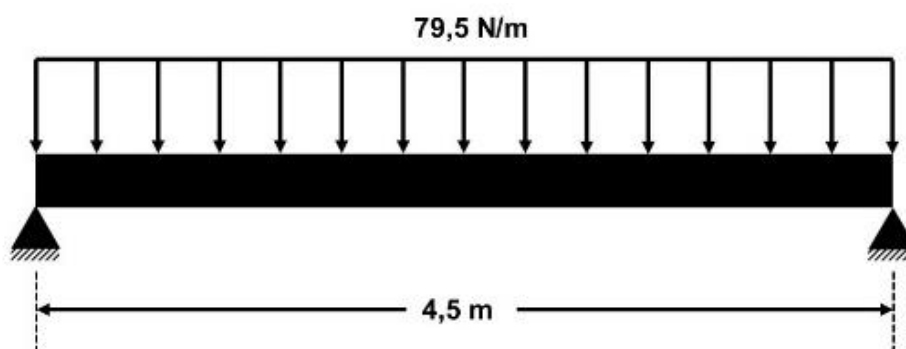


Figura 3.7 – Diagrama de esforços.

Considerando que o pior cenário ocorra quando todos os carros estão em uso, foi modelado o peso total como uma carga uniforme distribuída. A seção transversal foi

simplificada como sendo a seção das barras horizontais da base. Através as Equações 3.1 e 3.2 presentes em Popov, 1978, pode-se calcular o momento de inércia da seção e a máxima deflexão.

$$I = \sum I_n + A_n d_n^2 \quad (3.1)$$

Onde I é o momento de inércia da seção, I_n é o momento de inércia de cada corpo que compõe a seção, A_n a área da seção transversal de cada corpo e d_n é a distância entre o centro de cada corpo e o centro da seção.

$$|v_{m\acute{a}x}| = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (3.2)$$

Onde $v_{m\acute{a}x}$ é a máxima deflexão, w é o carregamento, L é a distância entre os apoios e E é o módulo de elasticidade do material.

O fabricante do perfil estrutural disponibiliza em seu catálogo momento de inércia, a área da seção transversal e o módulo de elasticidade da liga de alumínio utilizada. Os valores de d_n e L são provenientes das dimensões do projeto e o carregamento definido como a razão entre o peso e o comprimento do mecanismo. Na Tabela 3.2 são apresentados os valores das variáveis de entrada e dos resultados obtidos através das equações.

Tabela 3.2 – Variáveis e resultados da análise estrutural do dispositivo desenvolvido.

I_n	$3,06 \times 10^{-8} m^4$
A_n	$3,57 \times 10^{-4} m^2$
d_n	$0,115 m$
I	$9,5 \times 10^{-6} m^4$
w	$79,5 N/m$
L	$4,5 m$
E	$69 GPa$
$v_{m\acute{a}x}$	$0,65 mm$

A deflexão máxima estimada de 0,65 mm é satisfatória para as condições de uso projetadas. Esse resultado valida as dimensões dos componentes estruturais como adequadas para suportar as cargas previstas e os apoios nas extremidades, suficientes para um bom desempenho do mecanismo.

4. ESTIMATIVAS DE MELHORA

Como objetivo principal do trabalho é esperado que, com a implementação do mecanismo na linha de produção, o tempo de máquina parada seja reduzido. Apesar de ainda não ter sido construído, foi possível estimar o tempo que será gasto ajustando as facas com o auxílio do gabarito através de simulação de movimentos. Um ajuste de facas foi acompanhado e foram cronometrados os tempos de cada passo do processo. Nessa ocasião estavam sendo reposicionadas quatro facas igualmente espaçadas para que fossem cortadas três bobinas de 1,4 m de largura cada. O ajuste demorou 21,06 minutos, sendo dividido em: abertura da máquina, posicionamento, conferências e ajustes finos e fechamento.

O primeiro passo durou 1,75 minutos, onde o operador realizou o desligamento da máquina, abertura das proteções físicas e releitura da ordem de produção a fim de se certificar de quais larguras deveria ajustar. O passo seguinte foi realizado por dois operadores em conjunto. Enquanto um segurava a ponta da trena junto a primeira contrafaca o segundo movia a contrafaca seguinte para a posição adequada. Foram necessários 5,25 minutos para que as distâncias entre os quatro conjuntos de facas fossem medidas e ajustadas. A máquina foi então

religada, o ciclo manual, ativado e alguns metros de não tecido, cortado. O operador procedeu com a conferência das larguras e constatou que eram necessários ajustes finos. Foi preciso repetir a medição três vezes, sendo gastos 9,5 minutos. Por fim, os últimos 4,56 minutos foram utilizados na remoção do refugo gerado, fechamento das proteções físicas, preparação e início do ciclo automatizado de corte.

Na simulação de uso do mecanismo foram seguidos os mesmos passos, sendo possível concluir o ajuste em 10 minutos. Foi considerado para essa estimativa que o mecanismo estaria com as posições dos carros definida. O tempo de desligamento da máquina e abertura das proteções físicas foi estimado em 2 minutos. Dois operadores são necessários para movimentar o mecanismo e o inserir na máquina de corte. Entretanto, é possível que ambos movam as contrafacas simultaneamente e o ajuste seja realizado em 3 minutos. A conferência das larguras cortadas permanece ocorrendo, porém é esperado que o ajuste fino seja eliminado do processo. Dessa forma, em uma situação ideal, essa etapa seria concluída em apenas 1 minuto. O tempo de fechamento da máquina seria afetado somente pela quantidade menor de refugo a ser manuseado e, assim, estimado que seja realizado em 4 minutos.

Com base nos dados anteriormente apresentados, em um mês de produção ocorreram 33 ajustes em que foram reposicionadas quatro facas e foram gastos 715 minutos no total. Se esse ajustes fossem realizados em 10 minutos, como estimado. Seriam necessários 330 minutos o que se reflete em 385 minutos a menos gastos com a máquina parada por mês, ou aproximadamente 6,4 horas.

5. CONCLUSÃO

A versão entregue do projeto do mecanismo atende satisfatoriamente aos requisitos de projeto estabelecidos:

- Baixo peso: o dispositivo desenvolvido é suficientemente leve para ser movimentado com facilidade por dois operadores;
- Rigidez adequada: as deformações resultantes dos esforços a que o dispositivo estará submetido não afetam seu desempenho;
- Baixo custo de fabricação e de manutenção: a maior parte dos componentes é de origem comercial, o que simplifica a reposição de peças;
- Adaptabilidade: projeto base não necessita de grandes alterações para ser implementado em outras máquinas semelhantes;
- Praticidade: o uso do mecanismo é ágil e intuitivo;
- Precisão: o dispositivo desenvolvido dispensa o uso da trena no procedimento de *setup*, o que aumenta a precisão do posicionamento das facas.

Através da simulação de movimentos foi possível inferir sua eficiência do sistema desenvolvido na redução do tempo interno de *setup* dos conjuntos de facas de corte longitudinal.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Groover, Mikell P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. Pearson Brasil, 2010. ISBN 8576058715

Popov, Egor Paul. **Introdução à mecânica dos sólidos**. São Paulo: Edgard Blücher, c1978. ISBN 8521200943; 9788521200949.

Shingo, Shigeo **Sistema de troca rápida de ferramenta : uma revolução nos sistemas produtivos** Porto Alegre : Bookman, 1983

ANEXO I

Dimensões da alavanca de came especificadas pelo fabricante e disponibilizada em catálogo. Todas as dimensões suprimidas estão em milímetros.

Modelo	D	D1	D2	A	A1	B	B1	H	H1	L	Curso	Força manual	Força de aperto	Peso (g)
370-20825	M8	27	11	100	110	33	24	18	28,5	25	1,5	350 N	8 kN	115