

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA CAMPUS DE
GUARATINGUETÁ**

**Guaratinguetá
2013**

RAMON MOREIRA PERES

OTIMIZAÇÃO DE CUSTO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE
MANGUEIRA HIDRÁULICA

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de Graduação
em Engenharia Mecânica da Faculdade
de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Fernando Branco Costa

Guaratinguetá
2013

P437o	Peres, Ramon Moreira Otimização de Custo no Processo de Fabricação de Mangueira Hidráulica / Ramon Moreira Peres – Guaratinguetá : [s.n], 2013. 46 f : il. Bibliografia: f. 42 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013. Orientador: Prof. Dr. Antonio Fernando Branco Costa 1. Processos de fabricação 2. Mangueira (Hidráulica) 3. Plásticos – extrusão I. Título CDU 67.02
-------	---

OTIMIZAÇÃO DE CUSTO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE
MANGUEIRA HIDRÁULICA

RAMON MOREIRA PERES

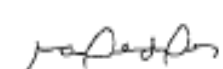
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUANDO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Antonio Fernando Branco da Costa
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Mauro Pedro Peres
UNESP-FEG


Engº Daniel Quintas Perez
Membro Externo

Guaratinguetá
2013

A Deus pela vida, saúde e disposição de acordar
todos os dias e ir em busca dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, que me deu suporte e apoio para que eu pudesse desenvolver este trabalho.

Agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram, confiaram no meu potencial, incentivaram e educaram, sem vocês não seria a pessoa que sou hoje, esta conquista é mérito de vocês!

A minha namorada que teve que abrir mão da minha presença em diversos momentos para que eu pudesse me concentrar não somente no desenvolvimento deste trabalho, mas também durante os momentos de estudos.

Ao meu irmão por diversas vezes ter me ajudando com matérias do curso. A minha irmã por me atormentar e tirar meu sossego quando precisava estudar.

À empresa em que realizei o estágio, em especial o time da Engenharia de Processos. Aos operadores da extrusora de mandril com suporte e dedicação no desenvolvimento deste projeto.

Ao técnico do laboratório de materiais da universidade pelo suporte na realização dos testes.

Aos meus amigos e familiares pelos momentos de alegria.

”Reciclar é dar ao fim um novo começo”

Autor desconhecido

MOREIRA PERES, R. **Otimização de custo no processo de fabricação de mangueira hidráulica**. 2013. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Grande parte das mangueiras hidráulicas é produzida sobre um mandril. O mandril possui comprimento longo e perfil circular sendo produzido pelo processo de extrusão do polímero poliamida, que neste caso é importada, então o processo fica dependendo de importação, o que implica altos custos com taxas e transporte. Este trabalho estuda a produção de mandril utilizando resina reciclada, do próprio mandril que está fora do dimensional para produção de mangueiras. Após a produção do mandril reciclado, foram realizados ensaios mecânicos de tração e de dureza tanto no mandril reciclado como no mandril natural, para que se pudesse compará-los. Verificou-se que o mandril reciclado apresenta propriedades de resistência à tração e de dureza superiores ao mandril natural. Dessa forma, este trabalho irá impactar diretamente nos negócios da empresa, gerando redução de custos, redução de desperdícios e redução dos impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Mandril reciclado, Mandril natural, Extrusão.

MOREIRA PERES, R. **Optimization of cost in the manufacturing process of hydraulic hoses.** 2013. 46 f. Final Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

A large part of hydraulic hoses is produced on a mandrel. The mandrel has longer length and circular profile being produced by extrusion of polyamide polymer, which in this case is imported, then the process is depending on the import process, which entails high shipping costs and fees. This work studies the production of recycled mandrel, using the mandrel that is out of dimensional to produce hoses. After the production of recycled mandrel mechanical tensile and hardness were performed both in the natural and recycled mandrel to compare them. It was observed that recycled mandrel presents the tensile properties and hardness superior to natural mandrel. Thus, this work will directly impact the company's business ultimately reducing costs, reducing waste and reducing environmental impacts.

KEY-WORDS: Recycled mandrel, Natural mandrel, Extrusion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mangueira hidráulica	12
Figura 2 - Mandril para produção de mangueira hidráulica.	13
Figura 3 - Mandril que será descartado.	14
Figura 4 - Diagrama de Pareto do consumo de poliamida em 2012	15
Figura 5 – Vista em corte de uma extrusora utilizada para o processamento de materiais poliméricos.	16
Figura 6 – Ilustração de um sistema de grelha e telas.	17
Figura 7 – Esquema de uma linha de extrusão de mandril.	19
Figura 8 – Valores de C_{pk} e C_p	21
Figura 9 - Fluxograma para produção de mandril reciclado.	24
Figura 10 - Moinho para trituração de mandril.	25
Figura 11 – Foto de um desumidificador para retirar a umidade do polímero.	26
Figura 12 – (a) Display onde é mostrado o diâmetro medido, (b) medidor de diâmetro	27
Figura 13 - durômetro escala shore D.	28
Figura 14 - (a) ensaio do corpo de prova natural; (b) ensaio do corpo de prova reciclado.	29
Figura 15 - Gráfico mostrando o corpo de prova deslizando na célula de carga.	30
Figura 16 - (a) Mandril na etapa de extrusão com umidade; (b) Mandril na etapa de extrusão sem umidade.	31
Figura 17 - Mandril com formação de caroços.	30
Figura 18 – Curvas do ensaio de TGA.	31
Figura 19 - Curva de capacidade do mandril natural.	35
Figura 20 - Curva de capacidade do mandril reciclado.	36
Figura 21– Curvas comparativas entre o mandril de material reciclado e natural.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados do ensaio de dureza Shore D	37
Tabela 2 - Resultados do ensaio de tração	39
Tabela 3 - Quantidade produzida de mandril reciclado.	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MANGUEIRA HIDRÁULICA	12
1.2	OBJETIVO	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivos específicos	13
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.3.1	Produção de mandril	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	PROCESSO DE EXTRUSÃO	15
2.1.1	Elementos de uma extrusora	16
2.2	EXTRUSÃO DE MANDRIL	18
2.3	POLIAMIDA	19
2.3.1	Características das poliamidas	19
2.3.2	Influência da umidade na extrusão das poliamidas	20
2.4	CAPABILIDADE DO PROCESSO	20
2.4.1	Índices de capacidade do processo	21
2.5	ENSAIOS MECÂNICOS	22
2.5.1	Ensaio de dureza	22
2.5.2	Ensaio de tração	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	ETAPAS DO PROCESSO	24
3.2	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS	24
3.3	COLETA DE DADOS	27
3.3.1	Estudo de capacidade	27
3.3.2	Ensaio de dureza	28
3.3.3	Ensaio de tração	28
3.4	DIFICULDADES ENCONTRADAS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	30
4	RESULTADO E DISCUSSÕES	35
4.1	CAPABILIDADE DO PROCESSO	35
4.2	ENSAIO DE DUREZA	37

4.3	ENSAIO DE TRAÇÃO	38
4.4	IMPLEMENTAÇÃO E QUANTIDADE PRODUZIDA	39
5	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 MANGUEIRA HIDRÁULICA

É um elemento de ligação flexível entre dois pontos com a função de transportar fluídos. Basicamente as mangueiras hidráulicas possuem três partes construtivas:

-Tubo interno: deve ser construído de material flexível e baixa porosidade, ser compatível química e termicamente com o fluído a ser conduzido.

-Reforço: considerado o elemento de força de uma mangueira, o reforço é quem determina a capacidade de suportar pressões.

-Cobertura: disposta sobre o reforço da mangueira, a cobertura tem por finalidade proteger o reforço contra eventuais agentes externos que provoquem a corrosão ou danificação do reforço.

Essas três etapas de construção podem ser vistas na Figura1.

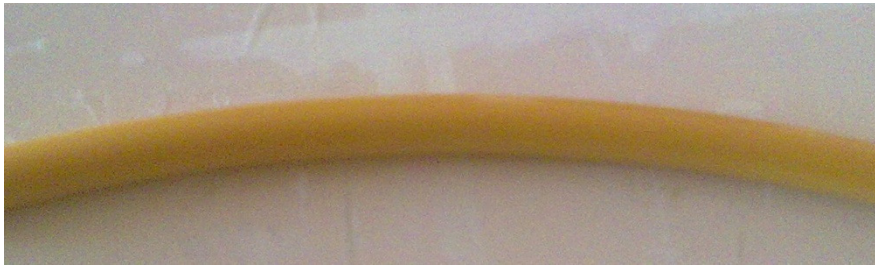
Figura 1 - Mangueira hidráulica.



Fonte – próprio autor.

A maior parte das mangueiras hidráulicas é produzida sobre um mandril, que é o principal objetivo deste estudo. Após finalizar o processo de produção da mangueira hidráulica, o mandril é extraído de dentro da mangueira, a qual é testada e está pronta para ser utilizada. O formato final do mandril (Figura 2), possuindo comprimento longo e perfil circular, é originado através do processo de extrusão, dessa maneira formando o diâmetro interno da mangueira. O material em que é produzido se trata do polímero poliamida, popularmente conhecido como nylon.

Figura 2 - Mandril para produção de mangueira hidráulica.



Fonte – próprio autor.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem o objetivo de otimizar o método de produção de mandril através da redução de custo, mantendo a sua qualidade assegurada.

1.2.2 Objetivos específicos

- Produzir mandril utilizando resina reciclada;
- Retirar amostras e analisar os dados obtidos;
- Comparar os dados obtidos da resina reciclada com a resina virgem;
- Implementação do processo na linha de produção.

1.3 JUSTIFICATIVA

Podem ser destacadas as principais justificativas:

- Redução de descarte do material no meio-ambiente, diminuindo a poluição do ambiente.
- Redução de desperdícios, pois a matéria prima ainda em boas condições para aproveitamento será descartada. Como pode ser visto na Figura 3.

- Redução de custo. O material utilizado para a produção do mandril é importado, gerando um alto custo para a empresa devido aos impostos, logística e propriamente a matéria prima. De acordo com os dados obtidos, o valor gasto com a resina para produção de mandril está entre os cinco maiores gastos com materiais para produção de mangueira hidráulica.

Figura 3 - Mandril que será descartado.

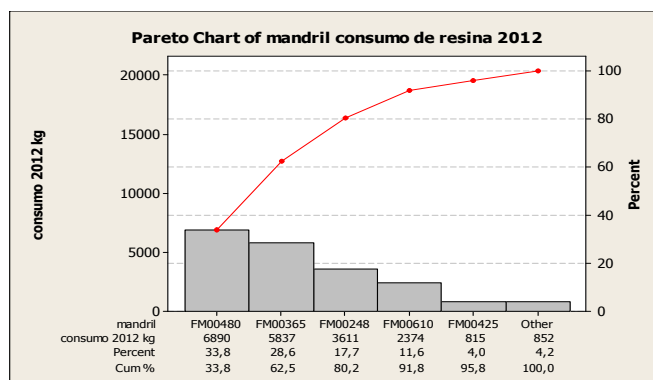


Fonte – Próprio autor.

1.3.1 Produção de mandril

Do diagrama de Pareto mostrado na Figura 4, é possível verificar o consumo de poliamida referente a cada bitola no ano de 2012.

Figura 4 - Diagrama de Pareto do consumo de poliamida em 2012



Fonte – próprio autor.

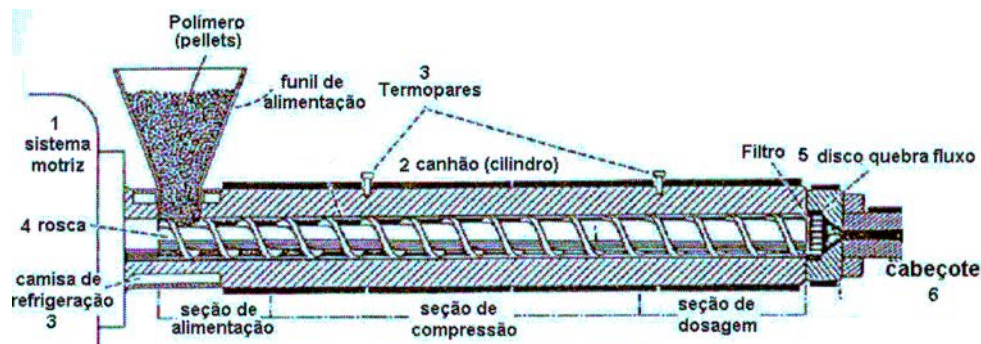
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROCESSO DE EXTRUSÃO

Segundo Arno Blass (1998) o processo de extrusão é realizado em um equipamento conhecido como extrusora. A palavra “extrusão” tem raiz e vai buscar significado nos vocábulos latinos, em que “ex” significa força e “tudere” significa empurrar. Pode-se definir, então, a extrusão como o processo de obtenção de produtos com comprimentos ilimitados e seção transversal constante, obrigando o material a passar através de um cabeçote sob condições de pressão e temperatura controlada. Dessa maneira, a moldagem por extrusão apresenta característica essencial, que a distingue de todos outros processos de conformação de polímeros. Esse processo é contínuo e por isso é usado para fabricação de produtos acabados, como por exemplo: mangueiras, tubos, barras, fitas, entre outros.

Segundo Silvio Manrich (2005), existem extrusoras de única rosca e extrusoras de dupla rosca; para desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada uma extrusora de rosca única. A Figura 5 mostra uma vista em corte de uma extrusora de uma rosca. A extrusora utilizada para o processamento de polímeros consiste essencialmente de um cilindro em cujo interior gira um parafuso (rosca). O polímero é alimentado através do funil de alimentação, para o canhão ou cilindro que está aquecido. O movimento da rosca promove o transporte do polímero, levando-o até a matriz. Durante esse deslocamento, o material é progressivamente aquecido, plastificado, homogeneizado, comprimido e finalmente é forçado a sair, através do orifício da matriz. À medida que o polímero flui através da matriz, o material adquire a forma da seção transversal. Assim, quando o polímero deixa a matriz, a sua forma corresponderá aproximadamente à seção transversal desta.

Figura 5 – Vista em corte de uma extrusora utilizada para o processamento de materiais poliméricos.



Fonte -<http://emc5744.barra.prof.ufsc.br/parte%20%20revisada.pdf>

2.1.1 Elementos de uma extrusora:

Funil – adequado ou específico para alimentar tipos diferentes de matérias-primas, que podem estar na forma de pó, grânulos ou péletes.

Canhão ou cilindro - O canhão é a parte da extrusora em cujo interior é alojada a rosca, proporciona uma das superfícies necessárias para friccionar o polímero. É constituído de aços especiais, possuindo elevada resistência à abrasão e à estabilidade térmica.

Rosca – tem a função de:

- Homogeneização/plastificação do polímero por meio de cisalhamento;
- Aquecimento do material para que este atinja o estado plástico que permita sua conformação na matriz da extrusora, sendo que o aquecimento se dá por atrito e através de mantas elétricas devidamente acopladas no canhão;
- Transporte do polímero a partir do funil da extrusora até sair da matriz;
- Elevação de pressão da massa polimérica ao longo do comprimento da rosca para que o perfil extrudado, seja compacto e isotrópico.

A geometria da rosca muda para cada polímero. Essa diferença de geometria ocorre porque os termoplásticos diferem entre si, tanto nas propriedades térmicas (capacidade

calorífica, calor latente de fusão, temperatura de fusão cristalina e temperatura de transição vítrea), quanto nas propriedades reológicas (curvas de fluxo e viscosidade) e propriedades mecânicas (dureza, resistência à compressão, etc.).

Cabeçote – é todo o conjunto que fica à frente da rosca, onde fica acoplada a matriz.

Matriz e grelha (disco quebra fluxo) – proporcionam alterações na queda de pressão ao longo da rosca e cabeçote. As condições adequadas de distribuição da pressão proporcionam boas mistura/plastificação do polímero que está sendo transportado, pelo fato de gerarem adequado cisalhamento, com perfis de velocidade balanceados. A presença da grelha elimina os efeitos do cisalhamento adquirido dentro da rosca, sendo que esse cisalhamento embute movimento espiralado à massa fundida. Perfis extrudados sem a presença de grelha podem apresentar distorção ou empenamento, que ocorre no mesmo sentido do movimento do fluxo dentro dos canais da rosca. A Figura 6 mostra um sistema de grelhas e telas.

Figura 6 – Ilustração de um sistema de grelha e telas.



Fonte - <http://emc5744.barra.prof.ufsc.br/parte%202%20revisada.pdf>

Sistema de aquecimento – ocorre por meio de resistências elétricas colocadas no canhão e cabeçote, temperaturas podem ser modificadas e otimizadas para gerar máxima qualidade do extrudado. Temperaturas muito elevadas diminuem demais a viscosidade do polímero, levando ao colapso geométrico da massa que sai pela matriz, impedindo a conformação do perfil desejado, além de gerar a degradação do material

em alguns casos. Em temperaturas muito baixas, além do difícil manuseio, a mistura não é boa, gerando uma massa heterogênea e um produto extrudado sem qualidade.

Sistema Motriz - movimentação da rosca é feita por intermédio de um redutor, o qual é acionado pelo motor.

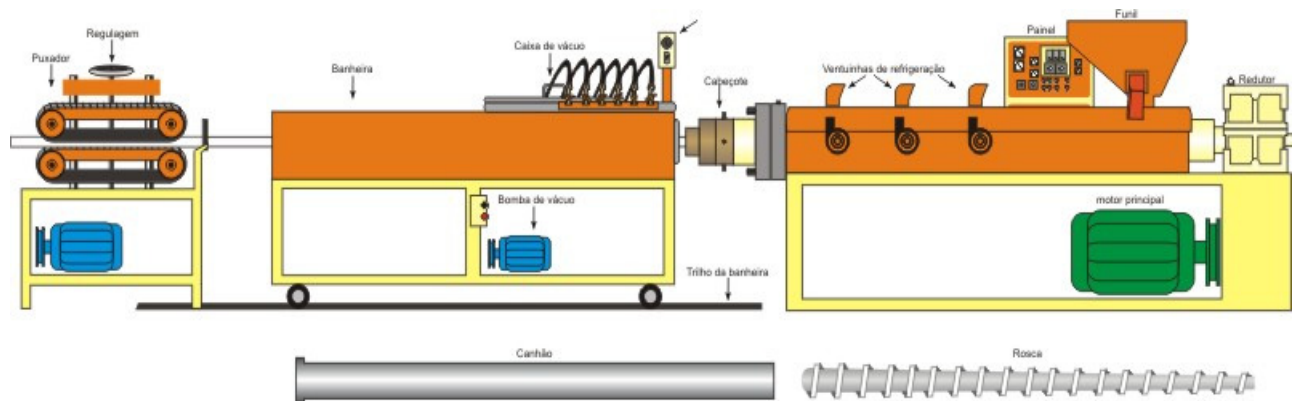
A rosca de um estágio é constituída de três zonas distintas, cada qual com suas funções específicas.

- *Zona de Alimentação* – Zona de entrada do material. A profundidade dos filetes (sulcos) é maior e seu diâmetro é constante em todo seu comprimento. A taxa de cisalhamento nessa região é bem pequena e o polímero estará praticamente no estado sólido.
- *Zona de Compressão* – A seção de transição ou de compressão destina-se a iniciar e promover a compressão e a plastificação dos grânulos do polímero. Isso ocorre porque a profundidade dos filetes é menor, diminuindo assim o espaço disponível para o material sólido passar. O material empurrado para frente é aquecido pela troca de calor com o canhão aquecido e pela fricção. A taxa de cisalhamento desenvolvida nessa seção é maior do que a da zona de alimentação.
- *Zona de Dosagem ou de Controle de Vazão (Calibragem)* – É a parte final da rosca, geralmente possui uma profundidade dos filetes relativamente pequena e é mantida constante em toda sua seção. Sua finalidade é dar estabilidade ao polímero e ajudar a manter constante o fluxo do material. Esta é a seção na qual o material está completamente viscoso.

2.2 EXTRUSÃO DE MANDRIL

O processo de fabricação de mandril inicia-se na extrusora, responsável pela plastificação e homogeneização, e controle de fluxo de material na saída da matriz. Na saída da matriz encontra-se uma calha com água resfriada, que tem a função de resfriar e manter as propriedades mecânicas do mandril. Na frente da calha de resfriamento, encontra-se o puxador, que tem a função de “puxar” o material que está sendo extrudado. Esse processo pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Esquema de uma linha de extrusão de mandril.



Fonte – www.broliato.com

2.3 POLIAMIDA

Poliamida, também conhecida como naylon e pela sigla PA, é um dos principais plásticos de engenharia existentes no mercado. Segundo William D. Callister Jr (2002), as resinas de poliamidas são higroscópicas, isto é, têm a capacidade de absorver água, portanto, antes do processo de extrusão, a resina deve passar por um processo de desumidificação para retirada da umidade do material.

2.3.1 Características das poliamidas

- Baixo coeficiente de atrito
- Alta resistência à fadiga
- Boa resistência ao impacto
- Alta temperatura de fusão
- Recicláveis

2.3.2 Influência da umidade na extrusão das poliamidas

A umidade é um dos fatores que mais influenciam na qualidade final do produto no processo de extrusão, principalmente no caso da poliamida, pois como dito anteriormente é um polímero com alta capacidade de absorção de água. A umidade absorvida do ar age como plastificante, alterando as propriedades físicas.

É necessária a secagem da resina antes da extrusão, pois a umidade causa a expansão (inchamento) do polímero, causando empenamento e escamação da peça. A secagem deve ser realizada através de desumidificadores pelo período de 4 horas a 80 °C. Deixar muito tempo além do recomendado pode causar degradação da resina.

2.4 CAPABILIDADE DO PROCESSO

É uma medida da habilidade do processo de não produzir nenhum defeito no tempo, enquadrando-se nas especificações definidas pela necessidade de clientes e normas técnicas. Como por exemplo, na produção de mangueiras hidráulicas, o mandril tem dimensões controladas com limite superior e inferior, para evitar uma série de problemas que podem ser causados no cliente final.

Análise de capacidade revela quão bem o processo de manufatura do produto encaixa-se dentro das especificações, e fornece ferramentas de como melhorar o processo e manter essas melhorias.

Como isso ajuda?

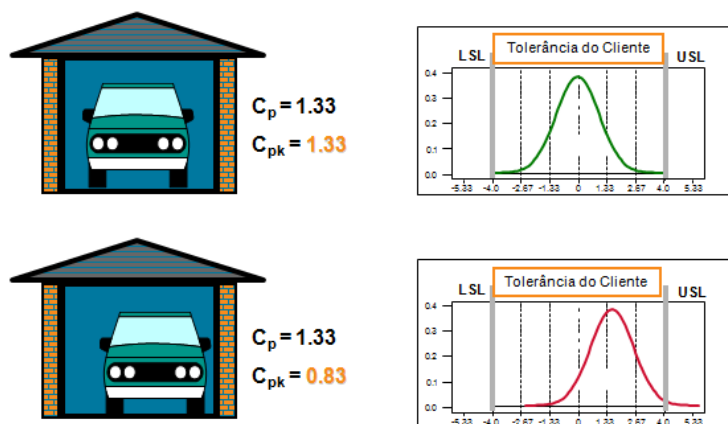
- Quantifica a melhoria do processo;
- Combina o desempenho do processo com as expectativas do cliente;
- Ajuda a identificar como melhorar o desempenho do processo.

2.4.1 Índices de capacidade do processo

Segundo Fernando, Eugenio e Luiz Cesar, os índices de capacidade do processo são parâmetros adimensionais que indiretamente medem o quanto o processo consegue atender as especificações estabelecidas. Para a maior parte dos parâmetros, quanto maior o seu valor, mais capaz o processo é de atender as especificações.

- C_{pk} - Mede quão próximo um processo está correndo de acordo com os limites de especificação superior e inferior. C_{pk} alto ocorre quando o processo está produzindo, atingindo o alvo com a menor variação possível.
- C_p - Mede a dispersão dos dados, não levando em consideração o alvo. Por exemplo, um processo está ocorrendo com mínima variação, mas distante do alvo e próximo a um dos limites de especificações, esse processo resultará em baixo C_{pk} e alto C_p .

Figura 8 – Valores de C_{pk} e C_p .



Fonte – Material interno da empresa.

2.5 ENSAIOS MECÂNICOS

2.5.1 Ensaio de dureza

Dureza é a propriedade característica de um material sólido, que expressa sua resistência a deformações permanentes e está diretamente relacionada com a força de ligação dos átomos. O ensaio de dureza permite medir a dureza baseado na endentação do durômetro no corpo de prova, com isso mede-se a dureza inicial ou após um período de tempo especificado, ou ambos. A operação do instrumento é bastante simples, o material é submetido a uma pressão definida aplicada através de uma mola calibrada que atua sobre o endentador. Um dispositivo de indicação fornece a profundidade de endentação. O valor da dureza é dado pela profundidade da penetração no material sob teste. A dureza de endentação é dependente do modo elástico e comportamento viscoelástico do material. Existem diversas escalas de dureza, e para avaliação da dureza da poliamida é utilizada a escala Shore D.

Vantagens e Desvantagens:

Os resultados obtidos deste teste são medidas úteis da resistência relativa à endentação. Entretanto, o teste de dureza Shore não serve para prever outras propriedades como resistência, abrasão ou desgaste, e não deve ser usado sozinho para especificação de projeto de produto.

2.5.2 Ensaio de tração

Consiste em submeter um material a um esforço que tende a esticá-lo ou alongá-lo. Este ensaio é realizado em um corpo de prova de formas e dimensões padronizadas para permitir comparação ou reprodução dos resultados. Para tanto, existem algumas normas que padronizam este tipo de ensaio, como normas ASTM e ISO.

As máquinas de ensaio de tração possuem dois cabeçotes onde são acoplados os corpos de prova. Durante o ensaio, um cabeçote permanece fixo enquanto o outro se move aplicando ao corpo de prova esforços crescentes de tração até a ruptura do

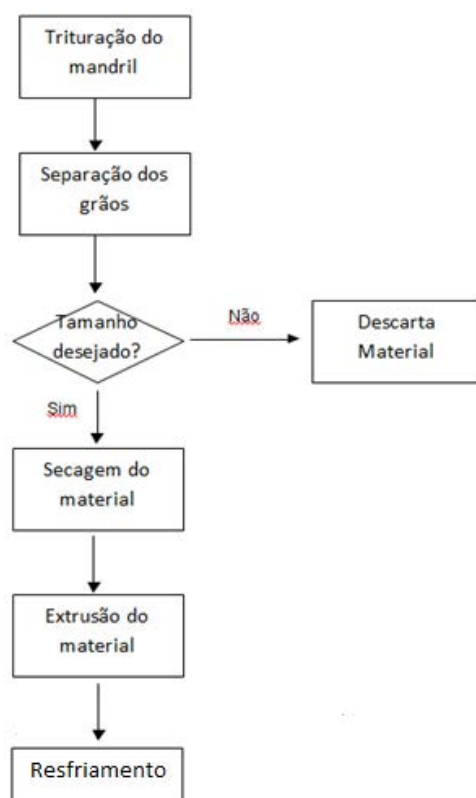
material ou alongamento pré determinado. As cargas e os alongamentos são medidos na própria máquina de ensaio.

3 METODOLOGIA

3.1 ETAPAS DO PROCESSO

Para que o mandril reciclado seja produzido é necessário que o sistema seja composto das seguintes etapas mostradas no fluxograma apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma para produção de mandril reciclado.



Fonte – próprio autor.

3.2 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS

1. A Figura 10 mostra o moinho onde é feita a trituração do material. O importante nesta etapa de produção é ter cuidado para não misturar tipos diferentes de materiais com o mandril que está sendo triturado, pois na extrusão qualquer material diferente do nylon irá prejudicar o acabamento final do produto.

Figura 10 - Moinho para trituração de mandril.



Fonte – próprio autor.

2. Caracterização do material (separação), sendo feita através de peneiras. A caracterização é feita através de peneira manual, porém passará a ser feita por uma peneira vibratória. Nesta etapa do processo, os materiais com menores dimensões que são praticamente pó serão descartados, pois esse pó pode degradar-se no processo de secagem da resina, causando entupimento na saída do desumidificador e acúmulo de material na rosca da extrusora.
3. Na etapa da secagem da resina, o material fica dentro do silo de secagem do desumidificador por um determinado período. É a etapa em que a umidade é retirada do polímero. A Figura 11 mostra a foto de um desumidificador.

Figura 11 – Foto de um desumidificador para retirar a umidade do polímero.



Fonte – próprio autor.

4. Extrusão da matéria prima, na qual ocorre a conformação final do produto. O material em forma de grânulos vai do desumidificador até o alimentador da extrusora, sendo então extrudado.

5. Resfriamento do mandril. Ao sair da extrusora, o mandril deve ser resfriado rapidamente, para que se conservem as propriedades do polímero. Esse resfriamento é feito através de calhas contendo água a baixa temperatura.

3.3 COLETA DE DADOS

3.3.1 Estudo de capacidade

Os dados para o estudo de capacidade do processo foram obtidos através de um medidor de diâmetro localizado no final da linha de produção onde mede-se instantaneamente o diâmetro que está passando pelo sensor. O valor medido é mostrado em um visor para o operador.

Neste equipamento Figura 12, é possível programar o diâmetro nominal e o intervalo do diâmetro em que o mandril pode ser produzido, de forma a atender os requisitos da qualidade. Caso o dimensional saia do intervalo programado, é mostrado um sinal de alarme no visor do equipamento.

Figura 12 – (a) Display onde é mostrado o diâmetro medido, (b) medidor de diâmetro



(a)

(b)

Fonte – próprio autor.

3.3.2 Ensaio de dureza

Os dados foram obtidos a partir de um durômetro de escala shore D, como mostrado na Figura 12. O ensaio de dureza consistiu na penetração do endentador contra o corpo de prova. Esse método é considerado empírico, pois diversos fatores podem influenciar na medição final, como por exemplo, se o endentador está sendo penetrado perpendicularmente na superfície do corpo de prova, se a pessoa que está realizando o teste está aplicando a mesma força em todas as medições, se a superfície do corpo de prova está plana, e dentre outros fatores.

A norma ASTM D2240 para ensaio de dureza diz que o endentador ao penetrar o corpo de prova deve ficar no mínimo a uma distância de 0,5 polegada de cada aresta. Porém para o presente trabalho esta norma não pode ser completamente seguida, uma vez que o corpo de prova tem apenas 0,5 polegada de diâmetro.

Figura 13 - durômetro escala shore D.

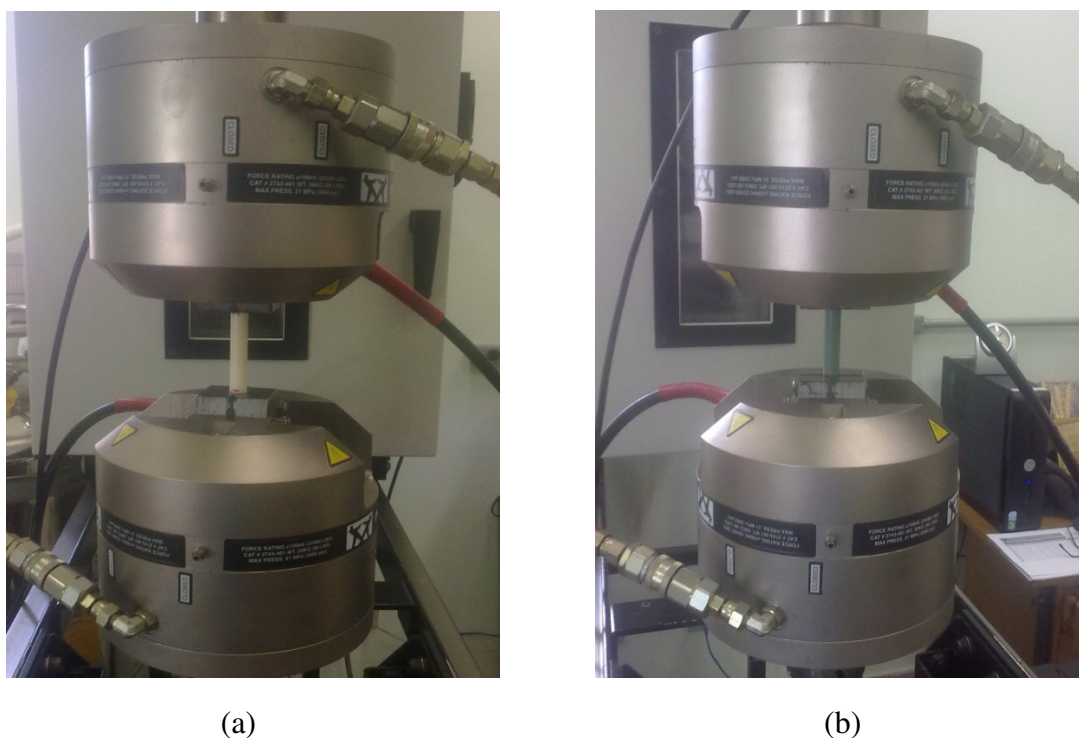


Fonte – próprio autor.

3.3.3 Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado no laboratório da FEG-UNESP no equipamento Instron 8801. Os corpos de prova utilizados tinham 5 polegadas de comprimento e 0,5 polegada de diâmetro. O ensaio foi feito de acordo com o padrão interno da empresa, estabelecido pelo centro de pesquisa e tecnologia. A Figura 14 mostra a realização dos ensaios de tração.

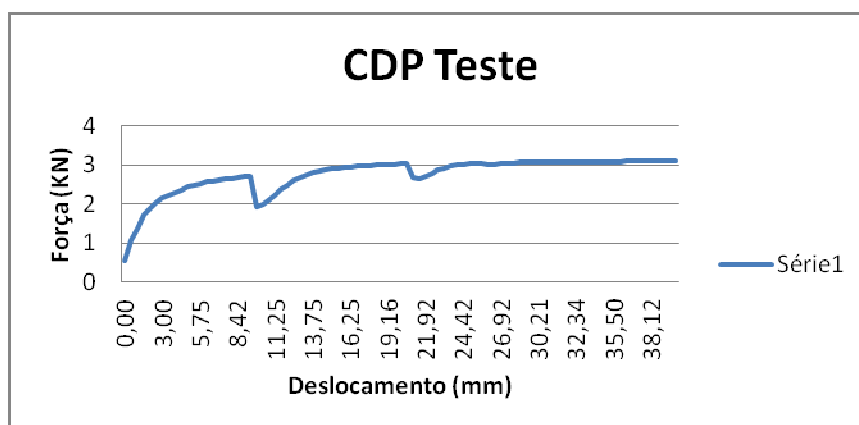
Figura 14 - (a) ensaio do corpo de prova natural; (b) ensaio do corpo de prova reciclado.



Fonte – próprio autor.

De acordo com os procedimentos dos ensaios de tração, o corpo de prova que está sendo testado não deve sofrer deformação na parte em que está presa a célula de carga da máquina. Inicialmente foi ajustada uma força de compressão que não alterasse o formato do corpo de prova, mas durante o ensaio o corpo de prova escorregou da célula de carga, e com isso uma nova força de compressão foi ajustada, porém, esta força ajustada para manter o corpo de prova fixo gera deformação no mesmo. Esse efeito pode ser visto no gráfico da Figura 15.

Figura 15 - Gráfico mostrando o corpo de prova deslizando na célula de carga.



Fonte – próprio autor.

3.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Durante todo o processo de execução e produção deste mandril reciclado foi necessário passar por vários obstáculos até obter o resultado final. O primeiro dos obstáculos foi o excesso de umidade na resina. Com isso, na etapa de extrusão, não foi possível chegar a uma superfície externa adequada, que atendesse o padrão de qualidade. Os efeitos da umidade podem ser vistos na Figura 16.

Figura 16 - (a) Mandril na etapa de extrusão com umidade; (b) Mandril na etapa de extrusão sem umidade.



(a)



(b)

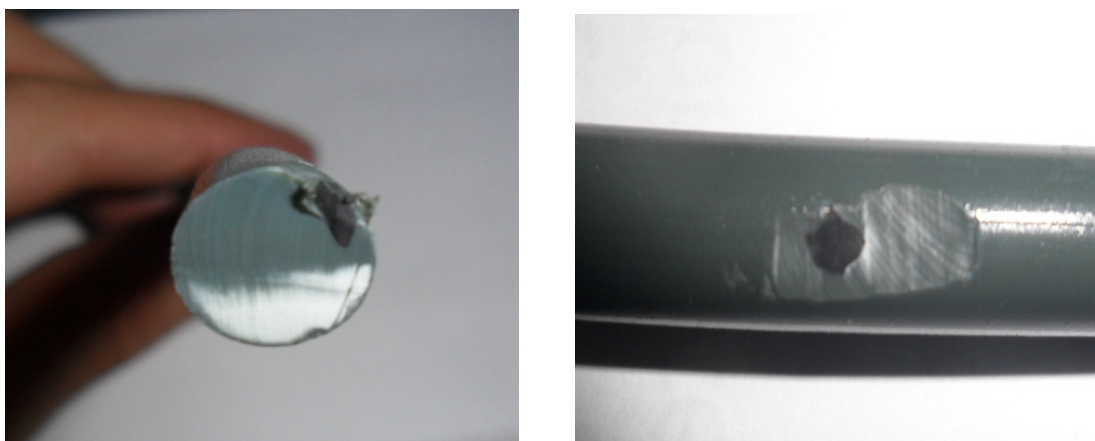
Fonte – próprio autor.

Para reverter esse problema, foram tomadas algumas medidas, como aumento no tempo de secagem. Porém o material continuou apresentando umidade na etapa de extrusão, não sendo possível produzir. A ação que foi tomada para reverter esse problema foi de enviar o desumidificador para o fornecedor fazer os reparos necessários, a fim de que o equipamento voltasse a funcionar normalmente.

Durante o período em que o desumidificador estava em manutenção, uma grande quantidade de amostra foi preparada para que, quando o equipamento voltasse, fossem produzidos mandris de material reciclado.

Com o retorno do equipamento, foi adicionado material para desumidificação no mesmo, ficando o tempo necessário para que fosse iniciado o processo de extrusão. Ao ser extrudado, apresentou-se um novo problema que foi a formação de caroços ao longo de todo o mandril, como é mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Mandril com formação de caroços.

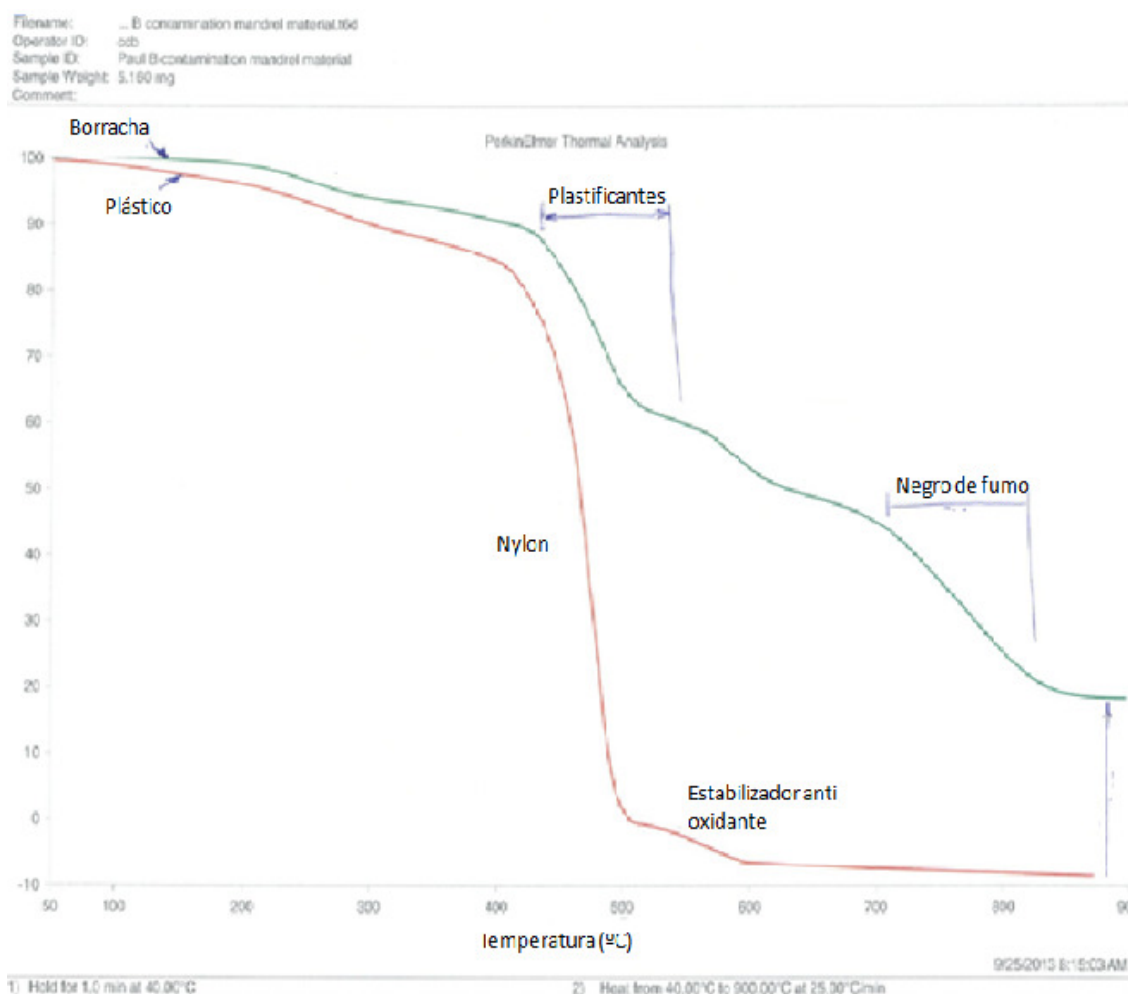


Fonte – próprio autor.

Diversas ações foram tomadas para tentar conter essa formação de caroços, tais como: limpeza da extrusora com composto de purga, alteração da temperatura na rosca e no cabeçote da extrusora e aumento do número de telas no cabeçote. Mediante todas essas tentativas, a formação de caroços ainda persistia.

A próxima ação tomada foi enviar amostra desse mandril para o centro de pesquisa e tecnologia da empresa, onde foi realizado ensaio de Análise Termogravimétrica (TGA) na amostra. O teste TGA consiste em queimar a amostra e avaliar quando cada componente evapora. O teste foi realizado utilizando uma amostra do mandril com caroço e outra amostra do mandril sem caroço, e o resultado é mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Curvas do ensaio de TGA.



Fonte – centro de pesquisa e tecnologia da empresa onde foi desenvolvido o projeto.

A curva vermelha (Figura 18) representa uma curva característica para o nylon, enquanto que a linha verde representa uma curva típica de borracha, levando-se a concluir que o caroço apresentado na extrusão estava sendo formado possivelmente por borracha.

Após essa análise, uma nova quantidade de mandril foi selecionada, triturada e peneirada novamente, para que o procedimento fosse tentado mais uma vez. Após a extrusão desse novo material preparado, o resultado obtido foi de mandril sem umidade e sem caroço, porém com maior rugosidade ao longo de seu comprimento.

Para solucionar essa rugosidade, foi alterada a temperatura da extrusora e do cabeçote, de forma a aumentar ou diminuir a viscosidade do mandril, melhorando o

acabamento superficial. Finalmente, após adaptar uma temperatura desejada, foi possível reciclar mandril.

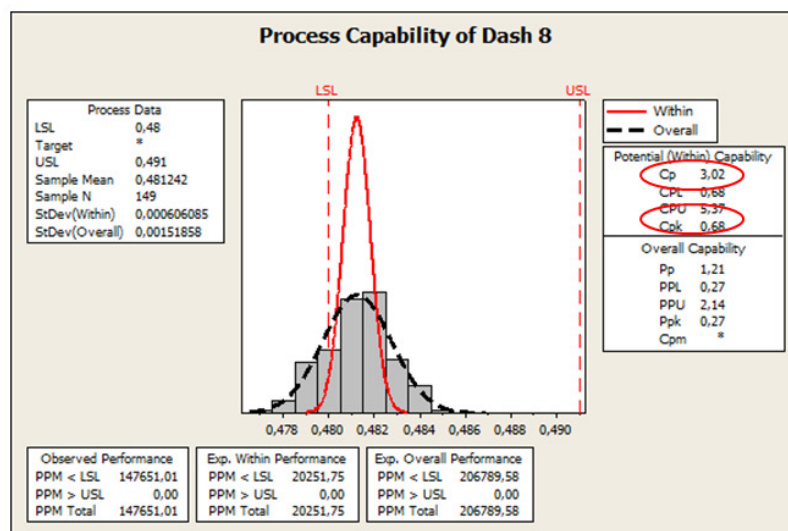
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CAPABILIDADE DO PROCESSO

Com os dados obtidos de acordo com o item 3.3.1, através do software Minitab, pode-se calcular a capacidade do processo.

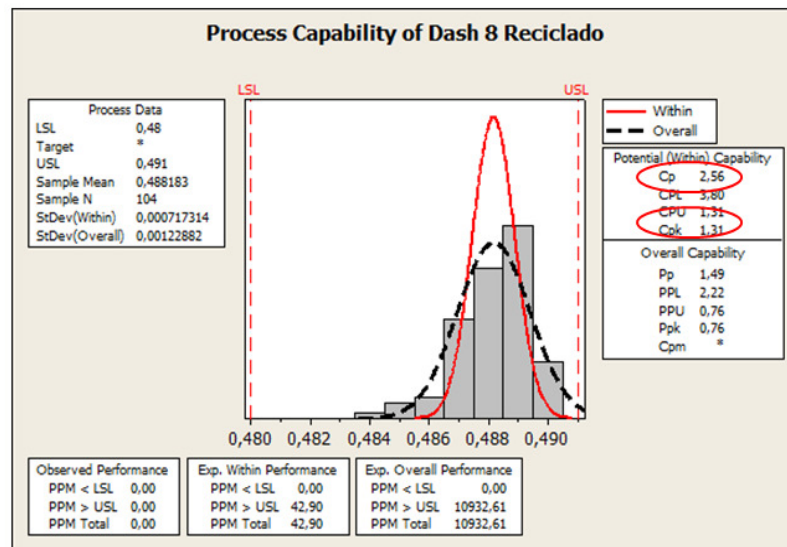
As curvas das Figuras 19 e 20 mostram os valores de capacidade para o mandril natural e para o mandril reciclado, respectivamente.

Figura 19 - Curva de capacidade do mandril natural.



Fonte – próprio autor

Figura 20 - Curva de capacidade do mandril reciclado.



Fonte – próprio autor

De acordo com os dados obtidos, o mandril natural apresenta $Cpk=0,68$ e $Cp=3,02$, e o mandril reciclado apresenta $Cpk=1,31$ e $Cp=2,56$. Isso nos mostra que o mandril reciclado apresenta uma maior dispersão entre os dados, devido o Cp do natural ser maior que o Cp do reciclado, porém a média dos valores do reciclado está mais próxima do valor nominal do diâmetro em relação ao do natural, pois o Cpk do reciclado é maior que o Cpk do natural.

4.2 ENSAIO DE DUREZA

Na Tabela 1 estão apresentados os valores obtidos nos ensaios de dureza.

Tabela 1- Resultados do ensaio de dureza Shore D

Mandril reciclado	Mandril natural
62,5	66,5
61	66
63	61
59	62
63	64
62,5	62
65,5	61
66,5	61,5
63	64
64	63
65,5	63
64	61,5
65,5	61
64,5	62
66	62
64,5	63
62	63,5
63	63,5
65	64
62	62
64	64
62,5	62
62	60

Calculando a média desses valores, obtém-se:

Mandril reciclado = 63,4 Shore D

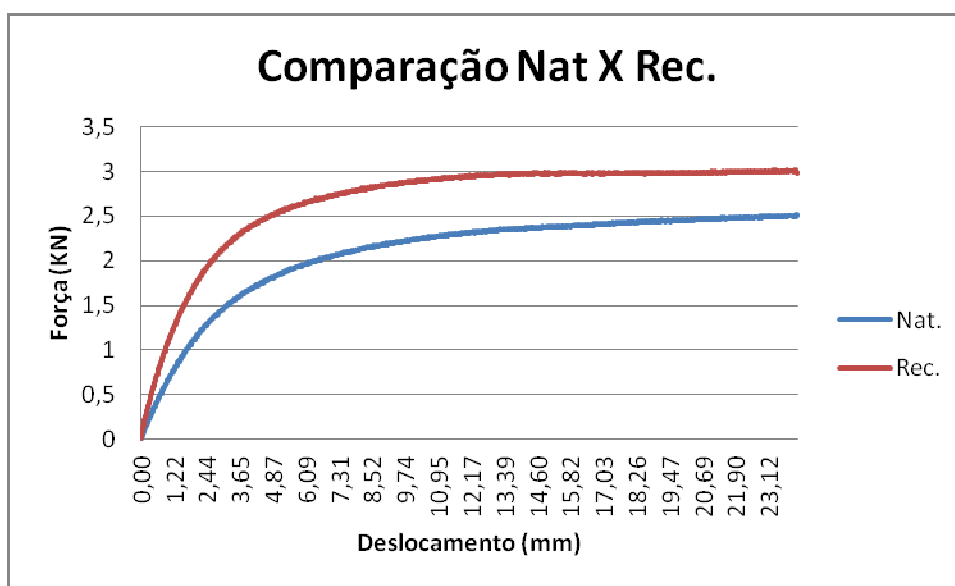
Mandril natural = 62,7 Shore D

Segundo a especificação técnica, fornecida pelo produtor do polímero, o material deve apresentar dureza de 64 Shore D. Portanto, com os valores médios obtidos, pode-se observar que os valores encontrados para ambos os mandris estão bem próximos um do outro e também próximos do valor teórico estabelecido pelo fornecedor.

4.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

Foram ensaiados 6 corpos de prova para cada tipo de mandril, que apresentaram curvas semelhantes, de acordo com o tipo de material. A Figura 21 mostra uma comparação entre um corpo de prova de mandril reciclado e outro corpo de prova de mandril natural. Todas as outras curvas podem ser vistas no APÊNDICE A.

Figura 21– Curvas comparativas entre o mandril de material reciclado e natural.



Fonte – próprio autor

Na Tabela 2, estão mostrados os resultados obtidos em relação à resistência à tração com 50% de alongamento do comprimento inicial e à resistência à tração máxima ocorrida durante o ensaio.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de tração

	Res. Tração 50% (KN)	Res. Tração Max. (KN)
CDP 1 Rec.	2,975	3,025
CDP 2 Rec.	2,964	3,019
CDP 3 Rec.	2,945	3,000
CDP 4 Rec.	2,895	2,942
CDP 5 Rec.	2,893	2,946
CDP 6 Rec.	2,891	2,898
CDP 1 Nat.	2,38	2,415
CDP 2 Nat.	2,481	2,515
CDP 3 Nat.	2,265	2,313
CDP 4 Nat.	2,364	2,404
CDP 5 Nat.	2,301	2,336
CDP 6 Nat.	2,33	2,377

Analisando-se os dados apresentados na tabela 2 e as curvas da figura 20, pode-se perceber que o mandril reciclado apresenta maior resistência à tração do que o mandril natural. Para 50% do alongamento inicial, o mandril reciclado apresenta resistência à tração aproximadamente 16,4% maior do que o mandril natural. Em relação à resistência à tração máxima, o mandril reciclado apresenta resistência à tração 16,9% maior do que o mandril natural.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO E QUANTIDADE PRODUZIDA

Durante todo o desenvolvimento deste projeto, foi utilizada uma peneira manual para caracterização dos grãos, porém, após atingir o objetivo final e ver que é possível a

reciclagem de mandril, será implementado o uso de uma peneira automatizada para caracterização dos grãos. A Tabela 3 mostra a quantidade de mandril reciclado produzido.

Tabela 3 - Quantidade produzida de mandril reciclado.

	Quantidade (m)
Bitola 4	2.600
Bitola 6	3.485
Bitola 8	6.027
Bitola 10	1.690

5 CONCLUSÃO

Apesar de todos os obstáculos encontrados durante a execução deste projeto, foi possível atingir os objetivos deste trabalho, que era o de produzir mandril utilizando apenas resina reciclada, mantendo os padrões de qualidade.

Durante todo o desenvolvimento deste projeto, foi utilizada uma peneira manual para caracterização dos grãos, porém após atingir o objetivo final e ver que é viável a reciclagem de mandril, será feita a implementação uma peneira automatizada para a caracterização dos grãos.

Como pode ser visto pela análise dos dados obtidos, um ponto que chama bastante atenção é de que a resistência à tração e a dureza foram maiores no mandril reciclado do que no mandril natural. A explicação para esse fato é que, durante o processo de produção da mangueira hidráulica, o mandril fica em uma autoclave, onde é aquecido com pressão e temperatura constantes. Esse processo faz com que o Nylon perca plastificante e outras propriedades químicas. Ao perder plastificante, aumenta-se a sua dureza, dessa forma aumentando-se também a força de tensão do material.

REFERÊNCIAS

BLASS, Arno. **Processamento de Polímeros**, Universidade Federal de Santa Catarina, editora da UFSC, 2 edição, Florianópolis,(1998).

CALLISTER Jr., W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**, LTC Ed. 5ª Ed., Rio de Janeiro, 2002.

COSTA , Antonio Fernando Branco; EPPRECHT, Eugenio Kahn; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Atlas: São Paulo, 2008.

GEORGE, M.L. **Lean Six Sigma for Service: how to use lean speed & six sigma quality to improve services and transactions**. Mcgraw Hill, 2004, 336 p.

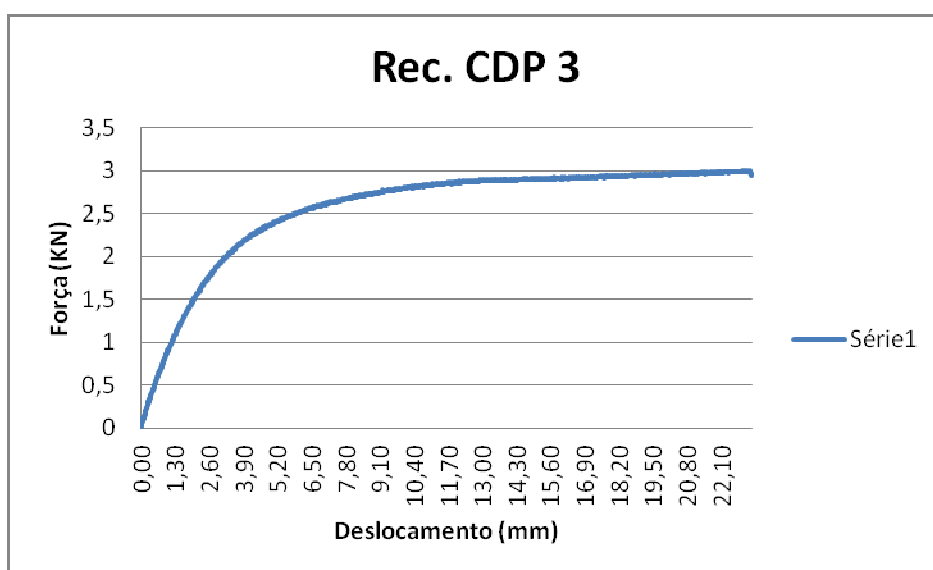
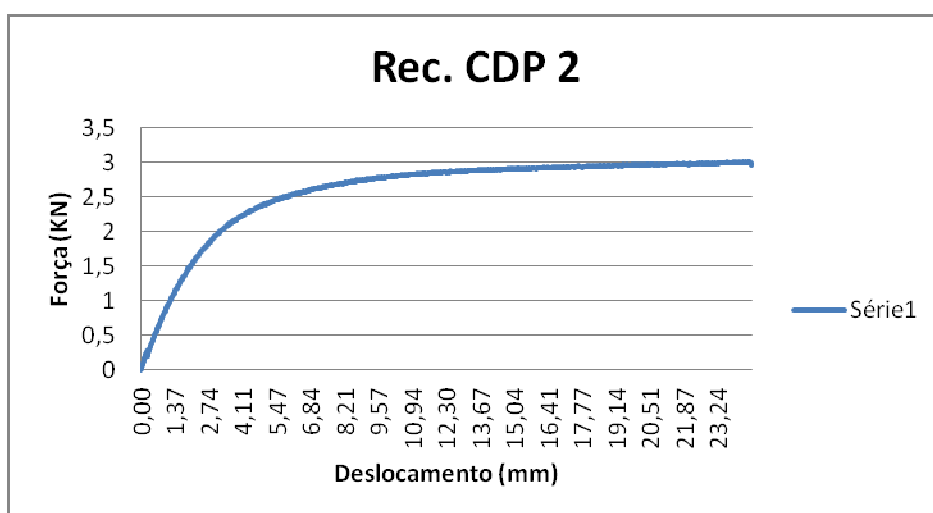
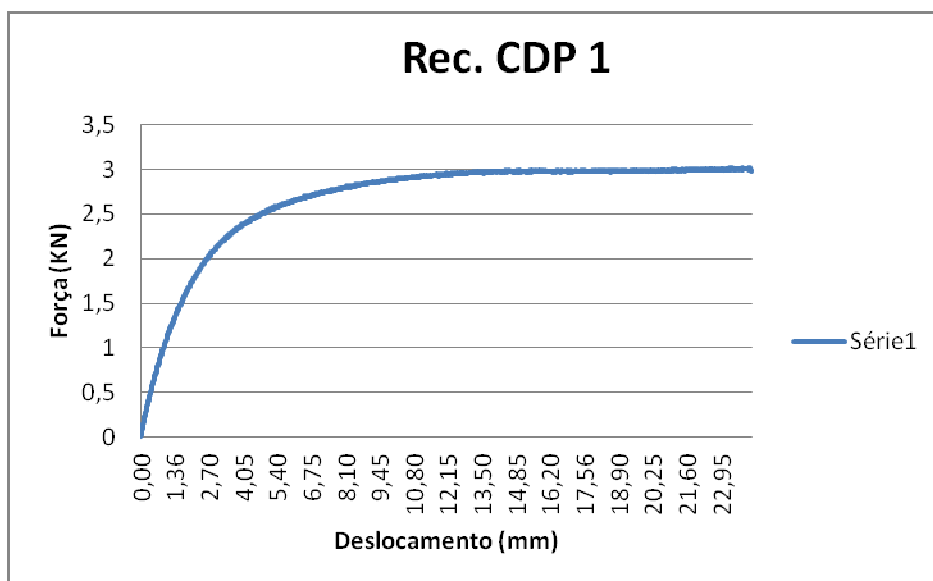
MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos**. Ed. Artliber. São Paulo, 2005.

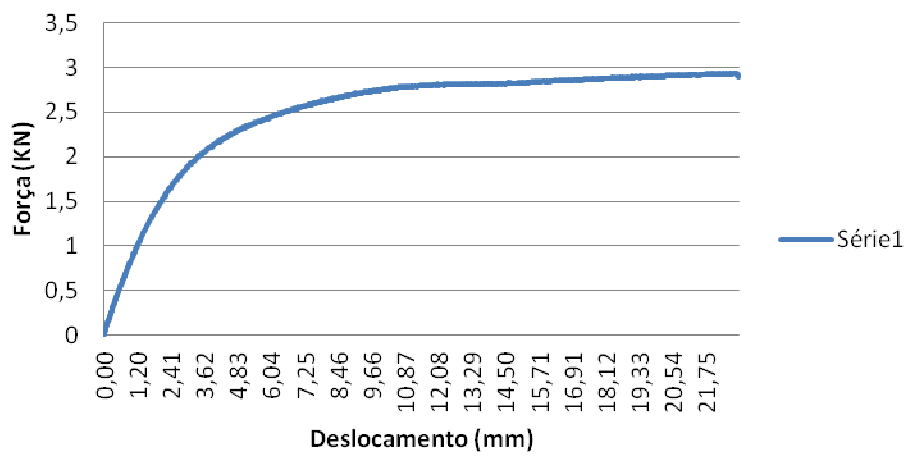
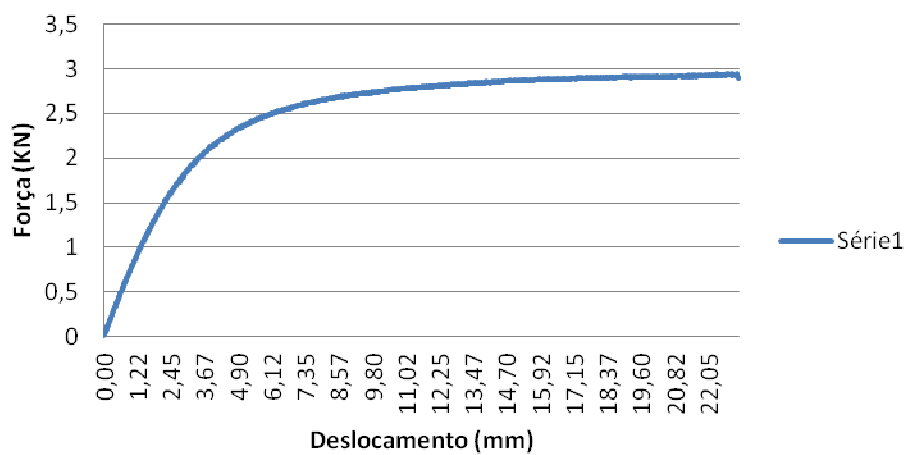
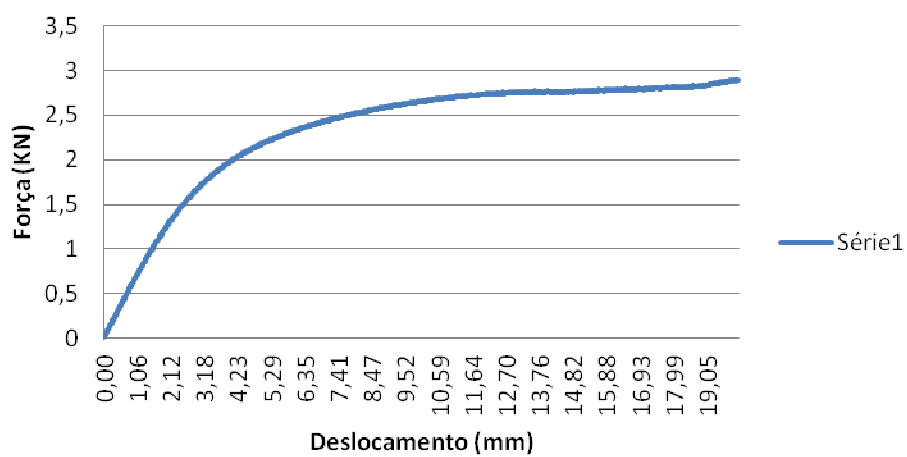
WIEBECK, H; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia, Tecnologia e Aplicações**. Ed. Artliber. São Paulo, 2005.

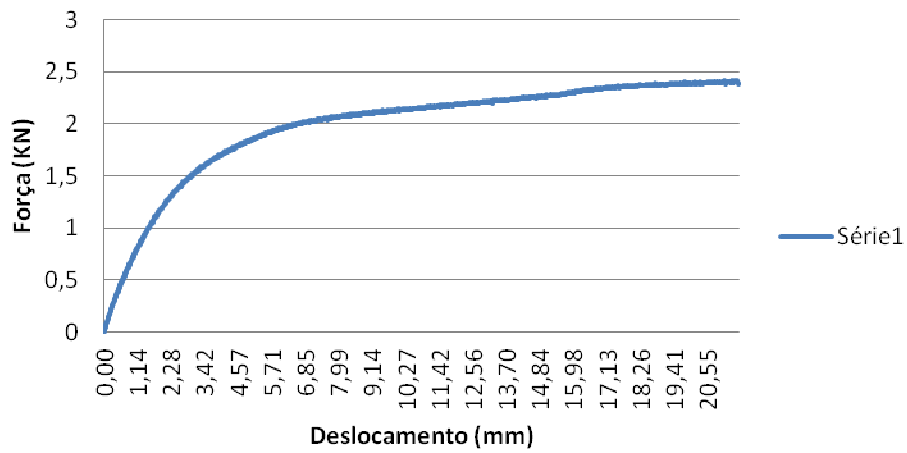
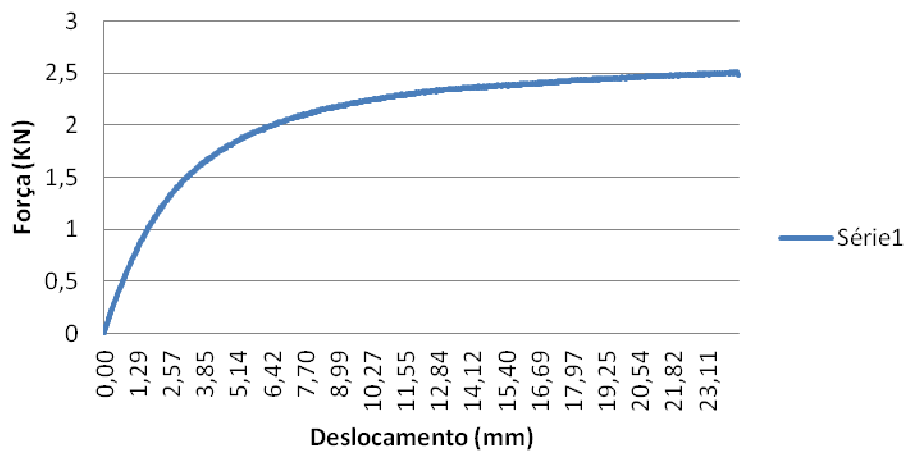
Sites consultados:

<http://emc5744.barra.prof.ufsc.br/parte%202%20revisada.pdf>

APÊNDICE A – Gráficos obtidos dos ensaios de tração



Rec. CDP 4**Rec. CDP 5****Rec. CDP 6**

Nat. CDP 1**Nat. CDP 2****Nat. CDP 3**