



**PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS NA
FABRICAÇÃO DE PNEUMÁTICOS**

Renato Ferreira Clavelario

Rio de Janeiro

2012

**PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS NA
FABRICAÇÃO DE PNEUMÁTICOS**

Renato Ferreira Clavelario

Rio de Janeiro

2012

RENATO FERREIRA CLAVELARIO

Aluno do Curso de Tecnologia em Produção em Polímeros

Matricula 0623800143

**PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS NA
FABRICAÇÃO DE PNEUMÁTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, TCC, apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em produção de Polímeros, da UEZO como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em produção industrial de polímeros, sob a orientação do Professor Alex da Silva Sirqueira.

Rio de Janeiro

Dezembro de 2012

PROCESSAMENTO DE ELASTÔMEROS NA FABRICAÇÃO DE PNEUMÁTICOS

Elaborado por Renato Ferreira Clavelario
Aluno do Curso de Tecnologia em Produção de Polímeros

Este trabalho de Graduação foi analisado e aprovado com
Grau:

Rio de Janeiro, 18 de Dezembro de 2012

Professora Erika Dias Cabral

Professora Patrícia Perreira

Professor Alex da Silva Sirqueira, Dr. Sci.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
DEZEMBRO DE 2012

Dedico este trabalho aos meus familiares.

A minha família - que me
incentivou em
todos os momentos difíceis;
Aos meus amigos e colegas, pela
caminhada solidária.
Ao meu orientador, Prof. Alex da Silva
Sirqueira, que forneceu orientações
seguras para o desenvolvimento deste
trabalho.

Resumo

A borracha natural é uma substância obtida na natureza, através da coagulação do líquido extraído do tronco da seringueira, o látex. A borracha também é obtida através do refino e sintetização do petróleo, conhecida como borracha sintética. Este componente tem uma grande participação em um dos mercados mais importantes do mundo, o mercado automobilístico, cerca de 80% da produção de toda produção de borracha produzida no mundo é destinada a este mercado.

Este trabalho tenta desdobrar algumas das técnicas de produção pneumáticas, o pneu, que se mantém obscuro para grande parte da sociedade. As técnicas que este trabalho irá explorar, será baseado na extrusão de elastômeros, focando principalmente na fabricação da banda de rodagem do pneu, parte que interliga o solo ao veículo.

A grande intenção deste trabalho é mostrar aos que não conhecessem e aos que se interessam, um pouco desta tecnologia e explorar algumas fases desta fabricação. O pneu é um equipamento do veículo, cujo é o único que interliga veículo ao solo, ou seja, recebe toda carga tecnológica desenvolvida no mercado automobilístico, como performance, aderência, nível de ruído, segurança e outros detalhes. Desta forma, exploraremos o processamento da borracha em extrusoras clássicas e CO-Extrusoras, a importância da uniformidade no pneu e seus critérios de aquisição, e a importância das matrizes de extrusão de ambos processos, de onde vem os perfis externos dos produtos fabricados para produção dos pneumáticos.

Palavras-chave: Pneu, borracha, extrusora clássica e CO-Extrusora, uniformidade, matriz, indústria pneumática.

"A águia reuniu coragem através de uma sabedoria inata. Enquanto os filhotes não descobrissem suas asas, não haveria objetivo em suas vidas. Enquanto não aprendessem a voar, não compreenderiam o privilégio de ter nascido águia. O empurrão era o maior presente que a águia-mãe tinha para lhes dar. Era seu supremo ato de amor. E por isso, um a um, ela os empurrou, e eles voaram!"

David McNally (junho 1990)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	11
1.1 HISTÓRIA DA BORRACHA E A BORRACHA NO BRASIL	11
CAPÍTULO 2 - PROCESSOS DE EXTRUSÃO.....	13
2.1 PROCESSO DE VULCANIZAÇÃO.....	13
2.2 PROCESSO DE MASTIGAÇÃO.....	133
2.3 PROCESSO DE MISTURA	144
2.45 EXTRUSÃO	144
2.5 CALANDRAGEM.....	155
2.6 MÉTODOS DE MOLDAGEM.....	155
CAPÍTULO 3 - O PNEU.....	177
3.1 A HISTÓRIA DO PNEU	177
3.2 ESTRUTURA DO PNEU.....	188
3.3 A FABRICAÇÃO DO PNEU	19
3.3 RELAÇÃO ENTRE PERFORMANCE E RODA.....	222
CAPÍTULO 4 - APLICAÇÕES DO PNEU	233
4.1 DESENHO DA BANDA DE RODAGEM.....	244
4.2 TECNOLOGIA RADIAL X TECNOLOGIA DIAGONAL	25
4.3 MANUTENÇÃO.....	27
CAPÍTULO 5 - UNIFORMIDADE DO PNEU.....	299
5.1 MEDIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE UNIFORMIDADE	299
5.2 INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	311
CAPÍTULO 6 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BANDA DE RODAGEM.....	344
6.1 CORTADEIRA.....	355
6.2 PLASTIFICADOR.....	355
6.3 MISTURADOR	377
6.4 EXTRUSORA PRINCIPAL	377
6.5 TAPETE DE TRAÇÃO.....	399
6.6 PISCINA DE RESFRIAMENTO	40
6.7 TORRE DE ENROLAGEM	40
CAPÍTULO 7 - MONITORAÇÃO DE PARÂMETROS DA EXTRUSORA PRINCIPAL.....	41
7.1 PARÂMETROS DO CABEÇOTE.....	41
7.2 PARÂMETROS DOS TAPETES.....	433
7.3 HARDWARE UTILIZADO	433
7.4 MÉTODO DE AQUISIÇÃO DE DADOS	444
CAPÍTULO 8 – ANÁLISE DE SINAIS	47

8.1 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS NA ESPESSURA DO PRODUTO.....	48
8.2 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE PRESSÃO E VELOCIDADE DO ROLO.....	56
CAPÍTULO 9 – PROCESSO CO-EXTRUDADO.....	478
9.1 CABEÇA DE EXTRUSÃO	4858
9.2 PRÉ-MATRIZ E MATRIZ.	61
CAPÍTULO 10 – MATRIZES DE EXTRUSÃO.....	62
10.1 MATRIZ DE ALUMÍNIO.....	62
10.2 MATRIZ DE AÇO.....	63
CAPÍTULO 11 - CONCLUSÃO.....	65

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Antes de partir diretamente para a análise da banda de rodagem e o diagnóstico do processo de fabricação, é essencial que se tenha pleno conhecimento sobre o tipo de material que compõe a banda de rodagem e que tipo de solicitação ela será submetida.

Inicialmente, faz-se necessário apresentar a borracha com um razoável nível de detalhe, pois sua reologia influi diretamente nas análises que o trabalho se propõe a fazer.

Posteriormente, uma descrição muito detalhada será feita sobre a ciência do pneu, aos estudos envolvidos na fabricação, sua estrutura, sua constituição bem como o papel que a banda de rodagem execer no pneu.

1.1 HISTÓRIA DA BORRACHA E A BORRACHA NO BRASIL

De acordo com Santos (2005), a borracha já era conhecida pelos índios antes do descobrimento da América. Em 1525, P. d'Anghieria relatou ter visto os índios mexicanos jogarem com bolas elásticas.

O primeiro emprego da borracha na Europa foi como apagador, utilizado pelo inglês Magellan. A palavra borracha teve sua origem numa das primeiras aplicações úteis deste produto, dada pelos portugueses, quando foi utilizada para a fabricação de botijas, em substituição às chamadas borrachas de couro que os portugueses usavam no transporte de vinhos.

Mas infelizmente, as alterações que os artefatos de borracha natural não vulcanizada sofriam sob a influência do frio, tornando-se quebradiços, e o inconveniente de aderirem-se uns aos outros se ficassem expostos aos raios de sol, desinteressaram os consumidores. Goodyear descobriu acidentalmente, em 1840, após inúmeras tentativas, a vulcanização, associando a borracha e o enxofre com temperatura e tempo controlados.

Já na virada do século a borracha ganhou o mundo, principalmente pela rápida

adaptação que sofreu quando foi plantada com sucesso nas florestas tropicais asiáticas.

A maior parte da borracha produzida industrialmente é usada na fabricação de pneus, correspondendo a 70% da produção.

O Brasil já foi o maior produtor e exportador de borracha natural do mundo. Essa posição foi ocupada até a década de 50, quando a exploração era, na totalidade, do tipo extrativista. Problemas econômicos e fitossanitários na região impediram o desenvolvimento sustentável da atividade.

Infelizmente, o país não é mais auto-suficiente na produção de borracha natural, sendo necessárias importações maciças de países asiáticos.

Segundo Mano e Mendes (1985), de maneira geral, existem dois tipos de borrachas: a borracha natural e a borracha sintética.

A borracha natural, na forma de látex, é obtida da seiva da seringueira cientificamente chamada de *Hevea Brasiliensis*, árvore de origem amazônica. Para sua extração são feitos pequenos cortes superficiais no caule da árvore, através dos quais o látex é captado. Depois de sua coagulação e secagem, este material é aquecido e posteriormente processado com outras substâncias químicas, transformando-se em borracha. A borracha natural é um hidrocarboneto com a configuração de um polisopreno, cujas moléculas apresentam a fórmula C_5H_8 , com os carbonos ligados entre si por ligações duplas. Suas características principais são a elasticidade, resistência à abrasão, plasticidade, condutividade elétrica muito baixa e muitas outras que a fazem entrar na fabricação de inúmeros e variados itens.

A borracha sintética, cuja tecnologia de obtenção é originada na Alemanha, tem como matéria-prima principal um gás chamado butadieno, que pode ser extraído do petróleo ou do álcool. Quando deixado em repouso, se polimeriza, como o isopreno. As cadeias poliméricas do butadieno entrelaçam-se gradualmente, formando moléculas grandes. Por meio deste, se consegue um tipo mais durável e com maior elasticidade da borracha sintética.

Em muitos casos ela pode substituir a borracha natural já que resiste melhor ao envelhecimento, às rachaduras e à abrasão do que o produto natural. Entretanto, sua resistência e flexibilidade são pobres e em algumas aplicações, é misturada à borracha natural. Ainda não se conseguiu fazer a borracha sintética exatamente igual à natural.

CAPÍTULO 2 – PROCESSOS DE EXTRUSÃO

2.1 PROCESSO DE VULCANIZAÇÃO

O processo de vulcanização é uma reação química que ocorre, geralmente, com enxofre em temperatura e tempo controlados, o políisopreno, ou seja, borracha natural incorpora em sua estrutura moléculas de enxofre, os quais formam ligações cruzadas entre as cadeias do políisopreno. Isto permite uma maior resistência à perda de elasticidade no aquecimento, pois suas cadeias são capazes de retornar a sua conformação inicial depois de uma deformação máxima, ou seja, é a mudança do material que passa do estado plástico ao estado elástico.

A determinação exata do método e das condições de vulcanização, isto é, tempo, temperatura e pressão, devem ser feitas não só tendo em vista a composição empregada, mas como também as dimensões do artefato a ser fabricado e sua aplicação.

Existem vários sistemas de vulcanização como túnel de ar quente, onde o material da extrusora passa e como o ar aquecido possui transmissão de calor muito baixa, é necessário que os túneis sejam longos, os sistemas de vapor, onde ocorre vulcanização contínua por tubo ou uma câmara de vapor ou gases tais como gás sulfuroso (SO_2) e o gás sulfídrico (SH_2), muito usado na indústria de condutores elétricos e o mais comum que é o sistema de prensas com platôs aquecidos por vapor, eletricidade ou fluídos que entram em contato com o molde. Quanto maior a temperatura, mais rápida é a vulcanização.

2.2 PROCESSO DE MASTIGAÇÃO

O processo de mastigação tem por finalidade plastificar o elastômero, não só para facilitar a incorporação dos diversos ingredientes da formulação, como torná-lo

suficientemente plástico, ou seja, viscoso, a fim de permitir as demais fases do processamento, o tempo e a temperatura empregada são fatores muito importantes na mastigação.

2.3 PROCESSO DE MISTURA

A mistura é a operação que se destina a produzir uma incorporação completa e dispersão uniforme de todos os ingredientes da formulação no elastômero. Esta operação deve seguir alguns requisitos como tempo, temperatura e ordem de incorporação de materiais. Caso não seja obtida uma boa dispersão, podem ocorrer as formações de grãos, grumos ou ainda porosidade no composto, deste modo interferindo nas propriedades finais do produto.

Existem basicamente dois tipos de misturadores, um deles é o chamado misturador aberto que consiste em dois cilindros que giram em sentido contrário e com velocidades diferentes, trata-se de um equipamento indispensável, dado sua versatilidade, pois tanto podem ser preparadas misturas, plastificar elastômeros, laminar compostos ou ainda reprocessar retalhos e rebarbas. No entanto a mastigação é, geralmente, muito demorada.

Outro sistema é o chamado misturador fechado, ou *Banbury*, consiste essencialmente de uma câmara de mistura fechada com dois rotores helicoidais, que giram em sentido contrário e com velocidades diferentes. A ação da mastigação tanto se dá entre os rotores, como entre a câmara e os rotores, a mastigação é muito mais rápida do que nos misturadores abertos.

2.4 EXTRUSÃO

Processo de extrusão de borracha que consiste basicamente em fazer uma massa de elastômero passar por uma matriz que contenha o perfil escolhido.

O processo assemelha-se muito ao de extrusão de metais, primeiramente uma massa de elastômero entra numa rosca ou pistão que a empurra direção a uma matriz, com seção transversal menor que a da massa e, na matriz, está o perfil com o qual queremos que a borracha tome forma.

Saindo da matriz, a borracha, para o caso de produção de semi acabados para pneus, é resfriada até uma temperatura aceitável para armazenamento, ou seja, temperatura na qual o produto já sofreu a maior parte de sua retração e a borracha é então enrolada.

2.5 CALANDRAGEM

O material destinado à calandra deve ser pré-aquecido de maneira uniforme e alimentado de maneira constante. Algumas operações são efetuadas em uma calandra como a fricção, onde rolos externos giram com a mesma velocidade e o do meio com velocidade menor e em sentido contrário, a cobertura, na qual o objetivo é colocar uma lâmina de borracha sobre um tecido já friccionado ou impregnado e a laminação, onde a finalidade é proporcionar a obtenção de laminados e de dispersar algum produto mal disperso em composições já processadas anteriormente.

Um dos principais problemas da calandragem que também ocorre na extrusão é o risco de pré-vulcanização, sendo ideal encontrar a melhor temperatura de trabalho para cada composto a ser processado.

Outro caso muito comum é a aderência do composto aos cilindros. De modo geral isto ocorre pelo fato do composto ter sido pouco pré-aquecido, estando sua temperatura muito mais baixa em relação ao cilindro, ou ainda o composto apresentar baixa dureza e certa pegajosidade.

2.6 MÉTODOS DE MOLDAGEM

O processo de moldagem consiste em introduzir um composto no molde e submetê-lo à temperatura e pressões elevadas, promovendo a reação de vulcanização, de modo a preencher o molde e deixar a peça nas dimensões desejadas.

Através desta técnica produzem-se selos, diafragmas, perfis, buchas e outras partes similares, usadas principalmente nas indústrias de auto peças.

Na moldagem por compressão após ser misturado é conveniente preparar a pré-forma, isto pode ser feito seguindo técnicas variadas por extrusão ou calandragem, e o corte final de modo a produzir uma pré-forma com precisão volumétrica, a fim de evitar

excesso de rebarbas ou falhas de material. Isto no caso da moldagem por compressão.

Na moldagem por transferência a pré-forma é menos crítica e a pesagem é mais importante do que o formato, mas também pode se preparar como no caso anterior por meio de calandras ou extrusoras. Ao preparar as pré-formas deve-se evitar a inclusão de ar no composto, já que durante a moldagem a oclusão de ar é responsável por vários defeitos. Se for usado uma extrusora na preparação seria interessante que fosse empregado o sistema de vácuo.

Além destes há os chamados tipos híbridos entre os quais a injeção-compressão e injeção-transferência. A escolha do processo mais adequado leva em conta tolerâncias dimensionais, restrições de rebarbas, pressão de escoamento, complexidade da peça, custo e produtividade.

CAPÍTULO 3 - O PNEU

3.1 A HISTÓRIA DO PNEU

Segundo Carvalho Filho (2002), assim como muitas das maiores invenções da humanidade, o pneu também tem sua história peculiar. Em 1834, numa alfaiataria de Massachusetts que presenteou o então presidente dos Estados Unidos, Andrew Jackson, com um terno impermeável de borracha, Charles Goodyear, filho de um inventor de ferramentas, foi designado para resolver um dos maiores problemas da borracha, ou seja, endurecer no frio e derreter no calor.

Depois de até ser preso por não conseguir pagar suas dívidas, Goodyear encontrou a solução do problema, ou seja, “cozinhar” a borracha em altas temperaturas. Isso aconteceu em 1839. Dois anos depois, ele pediu a patente de vulcanização da borracha e em 1845, um engenheiro escocês revestiu as rodas de sua carruagem com borracha vulcanizada inflada com ar, para diminuir o barulho e torná-la mais macia. Em 1888, John Boyd Dunlop, também escocês, mas que vivia na Irlanda, descobriu uma maneira de evitar as quedas de seus filhos na bicicleta, costurou uma válvula a um tubo de borracha e encheu esse tubo com ar, cobrindo com um pedaço de lona. Assim surgiu o primeiro pneu para bicicletas.

Na França, os irmãos Édouard e André Michelin foram os primeiros a patentear o pneu para automóveis. Em 1894, havia naquele país apenas 200 carros, todos com motores a vapor e pneus de borracha maciça. Numa corrida entre Paris e Bordeaux, em 1895, os irmãos Michelin inscreveram um carro com pneu inflável, que ganhou a corrida com certa folga. O problema era os constantes furos nos pneus. Em 1903, diante do grande sucesso, eles foram negociar seu produto numa pequena, mas promissora cidade americana chamada Detroit, onde acabava de ser montada uma grande fábrica de automóveis, a Ford. Em seguida, vieram pedidos de patentes de outros fabricantes como a Pirelli, a Firestone, a Goodyear e muitas outras.

A história do pneu tem curiosidade como, por exemplo, a fundação da Goodyear não foi feita por Charles Goodyear, mas sim por Frank A. Sciberling, que deu à sua empresa o nome Goodyear, em homenagem ao inventor do processo de vulcanização da borracha. Já o boneco Bibendum, da Michelin, foi criado quando os irmãos Michelin viram uma pilha de pneus, que de longe, parecia uma pessoa.

No Brasil, a história começa com escritórios de importação de firmas européias e norte-americanas. Em 1939, seria inaugurada a primeira fábrica de pneus do país: a Goodyear. No ano seguinte viria a Firestone, e em 1941 a Pirelli, que já tinha aqui uma fábrica de fios elétricos e só em 1981 chega a primeira fábrica da Michelin localizada no Rio de Janeiro.

3.2 ESTRUTURA DO PNEU

Muitos pneus são projetados para atender às necessidades e performance especificadas por um modelo de automóvel em particular. O processo começa com a conversão das necessidades do veículo em especificações técnicas. Um protótipo do pneu é feito para testar a eficiência do design em relação às características desejadas. O projeto de um pneu pode levar meses de testes, inspeções e verificações de qualidade antes de entrar em linha de produção.

O pneu pode ser decomposto em basicamente cinco partes principais com funções muito bem definidas Figura 1.

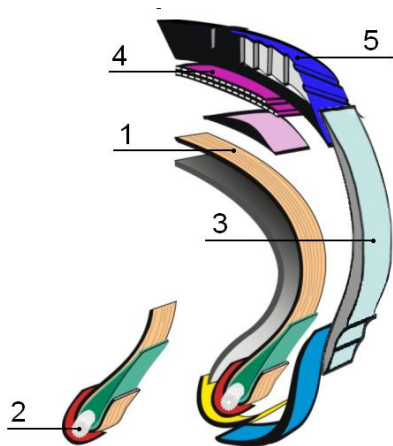


Figura 1: Estrutura do Pneu
Fonte: Michelin (2004)

- 1- Napa Carcaça: Parte resistente do pneu; deve resistir à pressão, peso e choques. Compõem-se de lonas de poliéster, nylon ou aço. A carcaça retém o ar sob pressão que suporta o peso total do veículo. Os pneus radiais possuem ainda as cintas que complementam sua resistência;

- 2- Aro: Constituem-se internamente de arames de aço de grande resistência, tendo por finalidade manter o pneu fixado ao aro da roda;
- 3- Parede lateral: São as laterais da carcaça. São revestidos por uma mistura de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga;
- 4- Napas de Topo: Compreende o feixe de cintas (lonas estabilizadoras) que são dimensionadas para suportar cargas em movimento. Sua função é garantir a área de contato necessária entre o pneu e o solo;
- 5- Banda de rodagem: é a parte do pneu que fica em contato direto com o solo. Seus desenhos possuem partes cheias chamadas de biscoitos ou blocos e partes vazias conhecidas como sulcos, e devem oferecer aderência, tração, estabilidade e segurança ao veículo;

3.3 A FABRICAÇÃO DO PNEU

O processo de produção começa com a seleção de vários tipos de borracha juntamente com óleos especiais, negro de fumo, pigmentos, antioxidantes, silicone e outros aditivos que serão combinados para oferecer as características desejadas. Compostos diferentes são usados para diferentes partes do pneu. Uma máquina chamada Misturador *Banbury*, como visto na introdução, transformará estas várias matérias primas para cada composto em uma mistura homogênea com a consistência da borracha. O processo de mistura é controlado por computador para assegurar a uniformidade da mistura. Os compostos são então enviados para as extrusoras que irão produzir os perfis semi acabados e para as calandras que irão produzir as napas.

Em seguida, começa a montagem do pneu que é feita sobre um tambor inflável cujas extremidades se aproximam Figura 2.

- 1- O primeiro componente a ser montado é o perfil interno (*innerliner*), uma borracha especial que é resistente ao ar e à penetração e que tem a forma de um tubo interno.
- 2- Depois vem a napa e cinta que geralmente são feitas de poliéster e aço e dispostas em sentido radial dando o nome à famosa técnica radial. Lonas e cintas dão ao pneu força e flexibilidade.
- 3- São colocados perfis de proteção para acomodar os aros de reforço estrutural na chamada zona baixa do pneu.

- 4- Os aros são implantados na parede lateral do pneu para formar o talão o qual irá assegurar o perfeito assentamento do pneu na roda.
- 5- O perfil interno e a lona de carcaça são rebatidos sobre o aro.
- 6- É colocado então mais um perfil que servirá de apoio para o perfil de flanco do pneu.
- 7- Mais um perfil de proteção é adicionado.
- 8- O perfil que será o flanco do pneu é colocado com a mesma precisão.
- 9- Nesta etapa o ar comprimido é injetado ao mesmo tempo em que as extremidades do tambor se aproximam dando uma forma mais sugestiva ao pneu.
- 10- A primeira lona cujos fios estão dispostos em um ângulo em relação à direção radial que pode variar de acordo com a necessidade de performance e esforço.
- 11- A segunda lona cujos fios estão em um ângulo cruzado com os da primeira lona dando mais reforço ao pneu.
- 12- A banda de rodagem é colocada sobre as lonas e o pneu é então levado ao molde de cozimento.
- 13- O molde é fechado, inflado e o aquecimento começa.
- 14- Durante o aquecimento, as ligações cruzadas começam a se formar dando as propriedades mecânicas ao pneu.
- 15- O molde então é aberto e o pneu sai com o formato da escultura do molde como forma definitiva.



Figura 2: Montagem do Pneu
 Fonte: Michelin (2004)

Todos os pneus são então inspecionados, e amostras aleatórias são retiradas da linha de produção e testadas. Algumas passam por Raios X, algumas são cortadas, outras são enviadas para testes com rodas e outras são testadas em pistas para avaliar o desempenho, maleabilidade, desgaste, tração e segurança. Todas essas características estão ligadas diretamente ao designer e tipo de utilização do pneu, mas principalmente aos tipos de borrachas utilizadas em cada etapa de utilização.

3.3 RELAÇÃO ENTRE PERFORMANCE E RODA

De acordo com a Empresa BRAZILTIRES (2006), com o objetivo de manter a consistência e uniformidade das medidas de pneus, representantes dos maiores fabricantes de pneus criaram a *Tire and Rim Association* (Associação de Pneus e Aros) nos EUA. A TRA tem estabelecido especificações técnicas que são baseadas em princípios de engenharia e ensaios práticos. Todo ano é publicado O TRA *YEARBOOK* o qual contém todas as normas TRA e informações relacionadas aprovadas pela Associação. Estas normas incluem características dos pneus, relação de carga dos pneus, dimensões, ensaios, largura do aro, desenho e medidas das rodas.

Normas no sistema métrico são estabelecidas através de uma associação similar chamada *European Tire and Rim Technical Organization* (ETRTO). A medida da largura do aro aprovada para cada tamanho de pneu tem sido cuidadosamente selecionada pela TRA e ETRTO. Por exemplo, o P255/50VR16 é aprovado para ser montado em rodas de 6 1/2 a 10 polegadas. Experiências anteriores e práticas de engenharia têm mostrado que rodas fora destas medidas provocarão esforços no pneu de modo que o mesmo terá um desempenho não satisfatório e estarão sujeitos a uma potencial falha.

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÕES DO PNEU

De acordo com a Empresa Brazil Tires (2006), Cada tipo de pneu tem uma aplicação e características específicas. A escolha correta implica no desempenho e durabilidade do pneu assim como na segurança dos passageiros do veículo.

Os pneus de alta performance proporcionam grande aderência e estabilidade e suportam altas velocidades, são pneus de grande diâmetro e largura, perfil baixo (50, 45, 40 ou 20) e rodas de 17, 18 19 ou 20 polegadas e construção radial.

Pneus convencionais são recomendados pelos fabricantes de veículos, possuem diâmetro normal, perfil série 60, 65 ou 70 e rodas de 15 ou 16 polegadas e de construção radial, oferecem conforto, são silenciosos e têm grande durabilidade.

Pneus *on / off* são destinados à veículos utilitários, *pick up's* e camionetes, podem ser utilizados no asfalto e em estradas de terra e são de construção radial, oferecem conforto relativo e dependendo do desenho da banda de rodagem, podem produzir ruído na rodagem.

Pneus *off road* são pneus que devem ser utilizados somente em estradas de terra e são normalmente de construção diagonal, são normalmente usados em competições *off road* ou utilizados em serviços nas fazendas, sua utilização em estradas de asfalto comprometem a segurança pois seu índice de velocidade é baixo e diminuem também a durabilidade do pneu além de produzir altas vibrações e ruído devido ao desenho da banda de rodagem.

4.1 DESENHO DA BANDA DE RODAGEM



Figura 3: Desenhos da Banda de Rodagem

Fonte: Empresa BRAZILTIRETS (2006)

No desenho da banda de rodagem nervura central mantém um contato “circunferencial” do pneu com o piso, os blocos, também chamados de biscoito, proporcionam tração e frenagem, os sulcos são responsáveis pela drenagem, ou seja, expulsão da água e lama. Os drenos são sulcos auxiliares que levam a água para fora da área de contato do pneu com o solo, aumentando a aderência em piso molhado e as covas são pequenas ranhuras que auxiliam na dispersão do calor do pneu.

A relação entre as áreas cheias e as áreas vazias, caracteriza a aplicação do pneu, ou seja, pneus com proporção de áreas vazias maiores caracterizam-se por um melhor desempenho em terrenos molhados ou com lama ou areia e pneus com proporção de áreas cheias maiores caracterizam-se por um melhor desempenho e aderência em piso de asfalto seco, como mostrado na Figura 3.

4.2 TECNOLOGIA RADIAL X TECNOLOGIA DIAGONAL

A principal diferença entre um pneu diagonal e um radial está em sua carcaça. Os pneus diagonais possuem uma carcaça constituída de lonas têxteis ou metálicas cruzadas umas em relação às outras, já a carcaça dos pneus radiais, por sua vez, constituem-se de uma ou mais lonas com cordonéis em paralelo e no sentido radial. As cintas de aço sob a banda de rodagem possibilitam a estabilidade dessa estrutura.

O pneu radial tem por vantagens maior durabilidade, melhor aderência, maior eficiência nas freadas e acelerações e economia de combustível.

A Figura 4 ilustra as principais diferenças entre as tecnologias do pneu radial e do pneu diagonal.







	
<p align="center">PNEU DE CONSTRUÇÃO DIAGONAL</p>	<p align="center">PNEU DE CONSTRUÇÃO RADIAL</p>
<p>O pneu é chamado diagonal ou convencional quando a carcaça é composta de lonas sobrepostas e cruzadas umas em relação às outras. Os cordões que compõem essas lonas são de fibras têxteis</p> <p>Neste tipo de construção, os flancos são solidários à banda de rodagem. Quando o pneu roda, cada flexão dos flancos é transmitida à banda de rodagem, conformando-a ao solo.</p>	<p>No pneu radial, os fios da carcaça estão dispostos em arcos perpendiculares ao plano de rodagem e orientados em direção ao centro do pneu.</p> <p>A estabilidade no piso é obtida através de uma cinta composta de lonas sobrepostas. Por ser uma carcaça única, não existe fricção entre lonas - apenas flexão -, o que evita a elevação da temperatura interna do pneu.</p>
<p align="center">PNEU DIAGONAL SEM CARGA E ÁREA DE CONTATO COM O PISO</p>	<p align="center">PNEU RADIAL SEM CARGA E ÁREA DE CONTATO COM O PISO</p>
	
<p align="center">PNEU DIAGONAL COM CARGA E ÁREA DE CONTATO COM O PISO</p>	<p align="center">PNEU RADIAL COM CARGA E ÁREA DE CONTATO COM O PISO</p>
	

Figura 4: Comparação entre a técnica radial e a técnica diagonal

Fonte: Empresa BRAZILTIRE (2006)

4.3 MANUTENÇÃO

4.3.1 – Sinais de Desgaste nos Pneus

Segundo a Empresa Brazil Tires (2006), a falta de manutenção nos pneus pode levar ao desgaste prematuro e também a problemas mais sérios como um estouro. Outros fatores podem também afetar o desgaste do pneu. Peças gastas da suspensão e a falta de alinhamento do veículo tem um papel direto no desempenho do pneu.

Para reconhecer os principais sintomas de problemas com os pneus basta analisar o desgaste dos mesmos. A Figura 5 mostra alguns exemplos de desgaste anormal em pneus e suas principais causas:



Desgaste na pista central:

Desgaste no centro do pneu. Pressão maior do a recomendada faz com que somente a seção central do pneu toque no piso ou excesso de borracha na pista central.



Desgaste nas pistas laterais:

Desgaste em ambas as bordas do pneu. Pressão menor do que a indicada faz com que os lados do pneu cedam e a parte central da banda de rodagem perde contato com o piso ou excesso de borracha nas pistas de bordo.



Desgaste em uma das pistas de bordo:

As rodas podem estar desalinhadas ou excesso de borracha em uma das pistas de bordo.



Desgaste irregular:

Pode significar que as rodas estão desbalanceadas, ou que os amortecedores necessitam de reparo.

Figura 5: Desgaste do Pneu

Fonte: Empresa BRAZILTIREES (2006)

4.3.2 – Sinais de Problemas em Rodagem

São dois os problemas mais comuns em rodagem, o ruído incomum, vibração ou batida que pode indicar uma cinta radial separada, roda desbalanceada ou pneu mal montado e o volante puxando para um lado que pode indicar uma diferença de pressão entre os pneus, cinta radial separada ou desalinhamento das rodas.

CAPÍTULO 5 - UNIFORMIDADE DO PNEU

Barbalat (2007), determinou que sobre o veículo e dentro de certas condições de utilização (velocidade, pressão, carga etc), as não conformidades do pneu montado têm influência sobre o conforto de dirigir e sobre o comportamento do veículo em rodagem. Essas não conformidades podem gerar ruído, vibração no volante, desgaste anormal e até mesmo diminuir a vida útil de alguns componentes mecânicos do veículo.

Existem basicamente três formas de manifestação de problemas de uniformidade: Problemas de forma, problemas de massa e problemas de rigidez

5.1 MEDIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE UNIFORMIDADE

Segundo Barbalat (2007), as medidas de uniformidade do pneu são realizadas em uma máquina assim como mostrado na Figura 6 onde o pneu é submetido a uma deformação controlada e posto para girar através de um rolo volante, a flutuação de esforço no eixo do rolo volante necessária para manter a deformação medida é chamada de variação de esforço radial ou apenas variação radial.

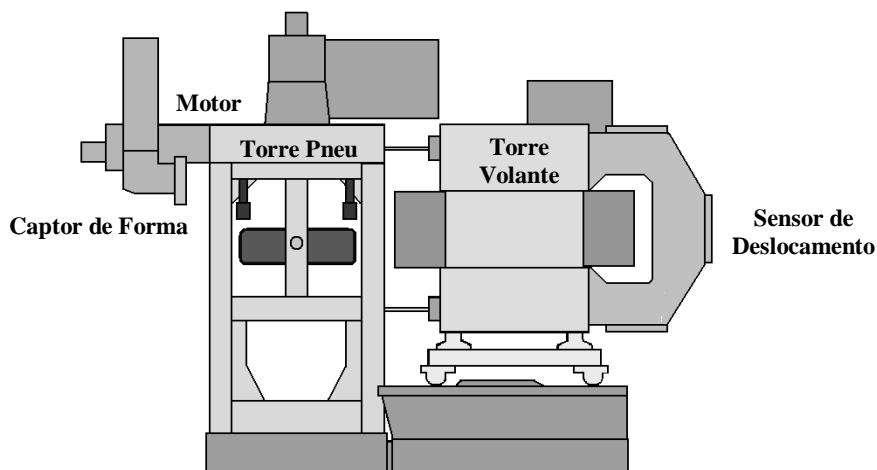


Figura 6: Máquina para medição de variação de esforços radiais e falso redondo do pneu
Fonte: Barbalat (2007)

O número de variações por ciclo dão o chamado valor de harmônico de um pneu que pode variar de 1 até números da ordem de 256. Cada harmônico, dependendo da velocidade de utilização do pneu, irá gerar uma frequência de variação que irá se

propagar para o veículo e cada faixa de harmônico pode apresentar um problema característico como ruído, vibração, desgaste anormal, etc.

A Figura 7 ilustra os harmônicos de um pneu assim como citado anteriormente.

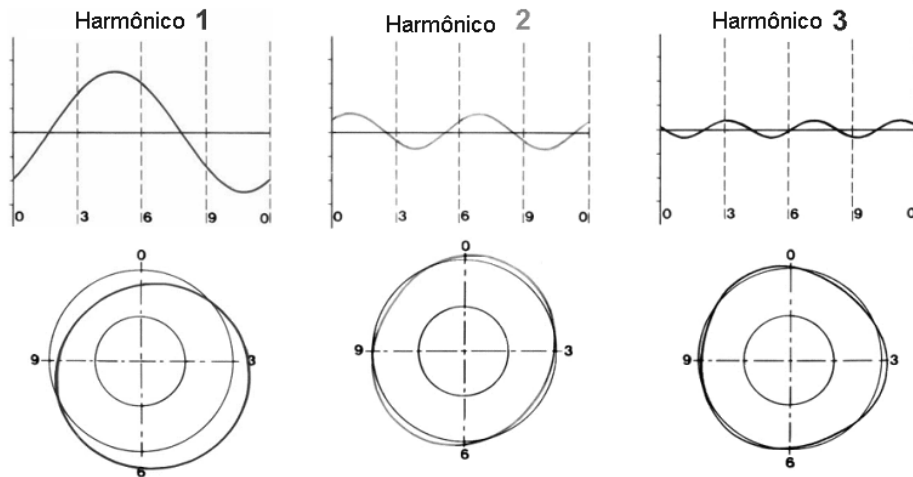


Figura 7 – Os harmônicos de um pneu

Fonte: Barbalat (2007)

Em geral, os harmônicos vêm todos misturados num pneu assim como apresentado na Figura 7, devido às várias etapas do processo de fabricação, este sinal é decomposto no domínio da frequência através da Transformada de *Fourier*, que será melhor explicada na seção 7.1. Com a decomposição em frequências, é possível ver separadamente a influência de cada harmônico na variação radial, cada influência é chamada de VRHi, ou seja, variação radial devido ao harmônico de índice i ($i = 1,2,3,4\dots$).

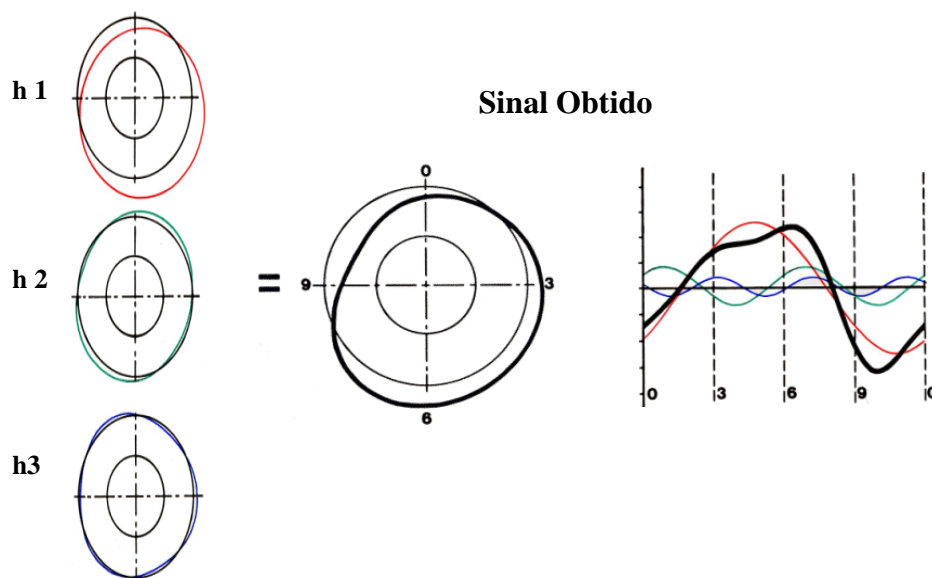


Figura 7: Harmônicos combinados em um pneu
 Fonte: Barbalat (2007)

5.2 INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O maior desafio do setor de qualidade é atribuir os harmônicos aos diferentes processos de fabricação como a extrusão, a calandragem, a montagem e a moldagem além de fatores como o armazenamento do pneu e transporte entre setores e tratar os problemas de variação radial.

Dentre muitos exemplos de variação radial harmônica característica de certos processos estão o harmônico 8 que geralmente é causado pelo cozimento pois o molde que tem 8 setores causa uma variação pontual em cada junta de setor, o harmônico 1 que pode ser causado por uma tensão pontual durante a colocação da banda de rodagem, a separação entre os fios de aço da napa carcaça e as variações causadas pelo processo de extrusão que será analisado mais detalhadamente.

A Figura 8 ilustra alguns dos os exemplos citados:

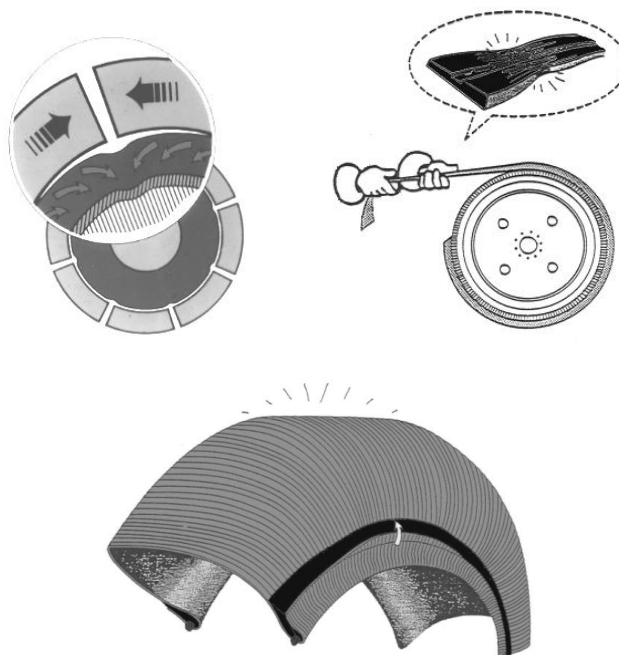


Figura 8: Exemplos de geração de harmônicos durante o processo de fabricação do pneu
Fonte: Barbalat (2007)

Além da medida de variação radial, também podem ser feitas medidas de falso redondo e desbalanceamento. A medida de falso redondo é uma alternativa à medida de variação radial, nela o pneu é posto para girar sem carga e o que se mede é a forma do pneu em vários pontos, os valores de harmônico também são pronunciados.

O desbalanceamento pode ser provocado pela má colocação dos produtos na montagem ou por uma variação pontual no processo de extrusão assim como mostrado na Figura 9.

É importante lembrar que devido ao fato do processo de extrusão ser em contínuo, é necessário introduzir uma emenda para cada semi acabado durante a montagem do pneu, estas emendas geram um acúmulo localizado de massa e, conseqüentemente, um potencial de desbalanceamento, porém elas são distribuídas em torno do pneu de forma a minimizar o efeito, Figura 9.

Variação de Espessura do Produto

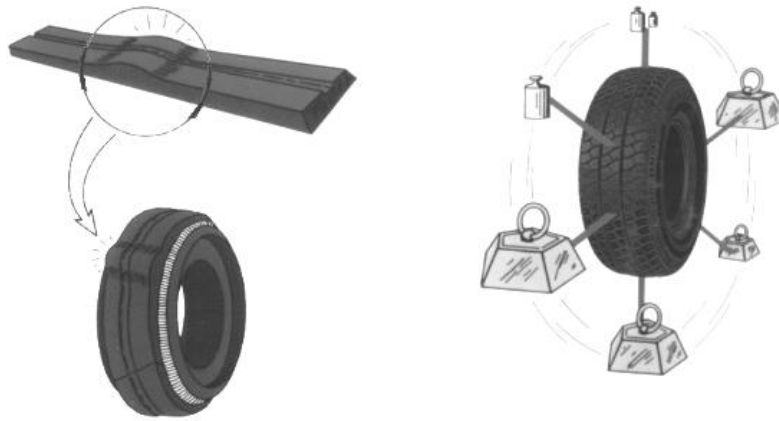


Figura 9: Exemplos de desbalanceamento no pneu
Fonte: Barbalat (2007)

CAPÍTULO 6 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BANDA DE RODAGEM EM EXTRUSORA CLÁSSICA

A banda de rodagem é o semi-acabado que exige maior precisão, pois é um componente fundamental no que diz respeito à performance, desgaste e segurança do pneu. A banda de rodagem, assim como a maioria dos semi-acabados, é um perfil de borracha que é extrusado, ou seja, tanto processos termoquímicos como quebraimento de cadeias poliméricas e homogeneização de mistura quanto processos mecânicos como o escoamento não newtoniano da massa visco elástica de borracha através do parafuso da extrusora e da matriz.

Os processos mais modernos de extrusão da banda de rodagem envolvem coextrusão onde há mais de um parafuso chegando na mesma matriz, porém neste projeto está sendo avaliada uma máquina convencional de extrusão com apenas um parafuso.

Começamos agora a entrar mais profundamente no aspecto técnico do projeto, no entanto alguns dos parâmetros aqui apresentados estarão em unidades fictícias em respeito ao segredo industrial que envolve a fabricação de pneus por parte da Michelin.

No processo de fabricação da banda de rodagem é empregada a extrusão, mas existem sub processos que devem ser considerados antes de se chegar à extrusão propriamente dita.

A Figura 10 apresenta uma visão global de uma extrusora a quente utilizada para confecção da banda de rodagem semi acabada.

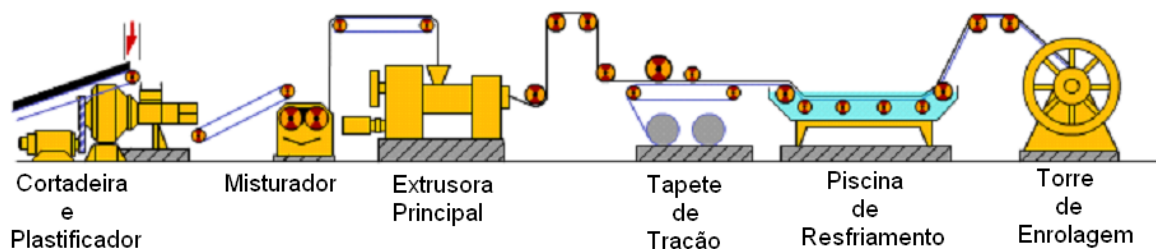


Figura 10: Desenho esquemático de uma extrusora a quente para fabricação da banda de rodagem semi acabada
Fonte: Michelin (2004)

6.1 CORTADEIRA

Na cortadeira as placas de borracha “crua” são depositadas e cortadas em pequenos pedaços para dar entrada no Plastificador, nesta fase é importante posicionar as placas de maneira a intercalar os diferentes lotes para evitar uma variação local de propriedades como plasticidade, fluidez ou fixação.

6.2 PLASTIFICADOR

O Plastificador nada mais é do que uma extrusora a frio que recebe este nome por receber borracha sem pré-aquecimento. Este equipamento tem a principal função de homogeneizar a mistura de borracha e cisalhar as cadeias poliméricas a fim de gerar uma plasticidade e fluidez adequada para o restante do processo.

Sendo uma extrusora, ele tem um cilindro, também chamado de canhão, que é aquecido em duas partes, uma zona de alimentação e uma zona de homogeneização ou plastificação e um parafuso também aquecido que difere do parafuso da extrusora principal por ter na ponta uma zona de alto cisalhamento chamada torpedo.

É importante destacar que as temperaturas do cilindro e parafuso apenas mudam as características de escoamento a fim de controlar a plastificação, pois apenas 20% da energia envolvida no processo é proveniente da troca de calor entre a massa de borracha e as peças da extrusora, os 80% restantes da energia tem origem na quebra de cadeia pelo cisalhamento aplicado, esta energia eleva a temperatura da massa de borracha a valores que devem ser controlados.

Sendo assim, a temperatura de saída da massa polimérica é uma função da velocidade de rotação do parafuso para uma dada mistura, esta função pode ser aproximada por uma função linear para pequenas variações de velocidade. Uma vez calculada esta relação, podemos saber com boa precisão a rotação máxima admissível para não causar vulcanização precoce e degradar o polímero.

Na saída do plastificados não há uma matriz por não haver necessidade de se criar um perfil, no entanto três tiras de borracha são extrusadas até o alimentador da extrusora principal.

A Figura 11 mostra em detalhes o interior de um plastificador com a evolução da pressão ao longo do comprimento da rosca:

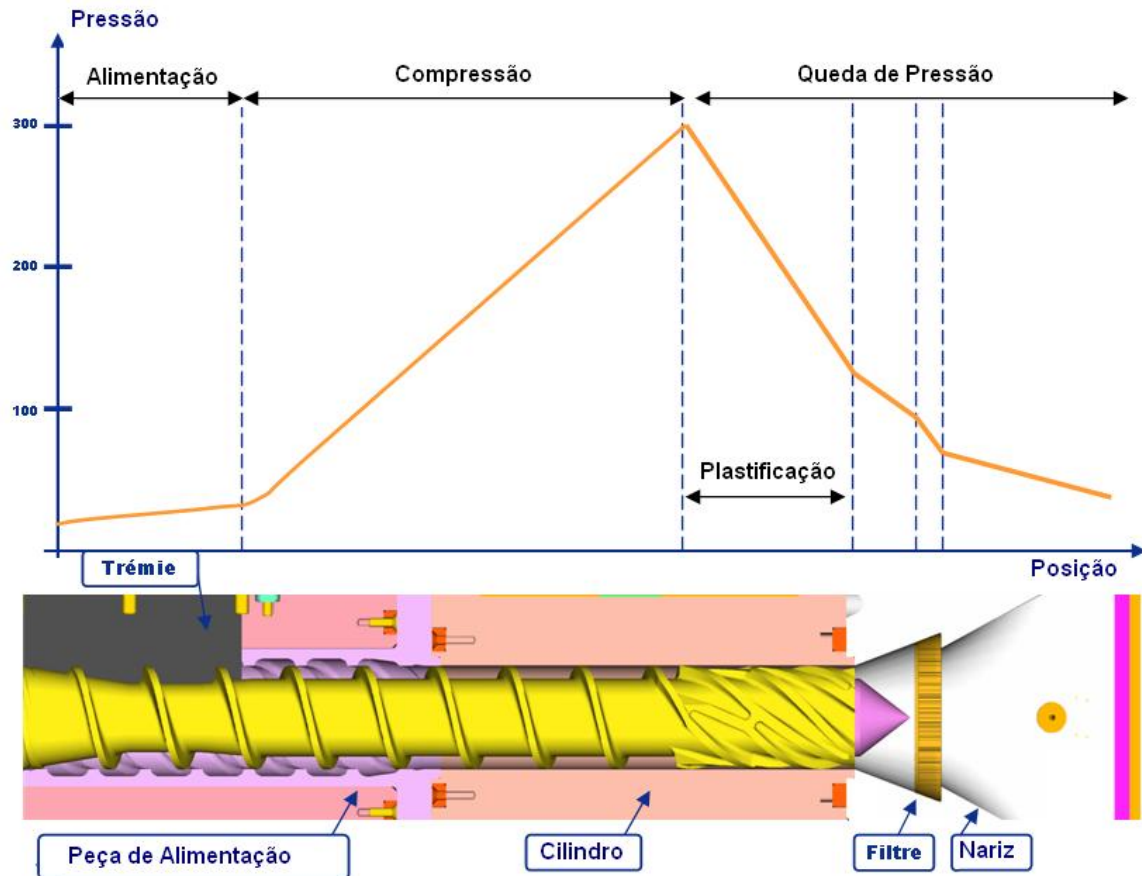


Figura 11: Evolução da pressão da massa dentro da rosca do plastificador
Fonte: Michelin (2004)

6.3 MISTURADOR

O misturador é constituído de dois cilindros com temperatura controlada e afastamento regulável que recebe as três tiras vindas do plastificador. O cilindro dianteiro tem uma velocidade de rotação maior que o traseiro gerando também um cisalhamento e o aumento da temperatura da borracha. A principal função do misturador é criar uma reserva de borracha para alimentar a extrusora principal evitando as alimentações intermitentes que tem conseqüências relevantes no processo de extrusão.

A Figura12 mostra uma fotografia de um misturador assim como os que são utilizados para a alimentação de extrusoras a quente:

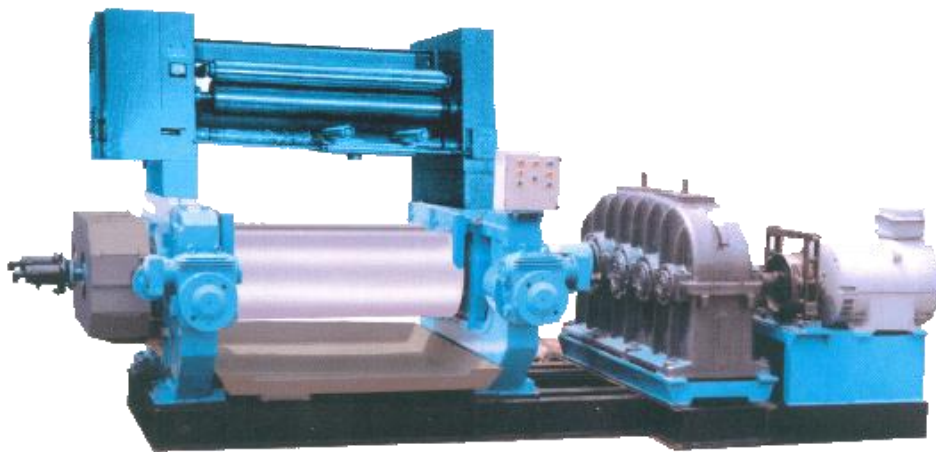


Figura 12: Misturador SLACH HYDRATECS RUBBER MIXING MILLS

Fonte: Empresa BRAZILTIREES (2006)

6.4 EXTRUSORA PRINCIPAL

A extrusora principal é responsável por extrudar o perfil definitivo da banda de rodagem, e diversos aspectos serão abordados para o perfeito entendimento do projeto.

Além do parafuso que neste caso não apresenta um torpedo, ou seja, é o chamado parafuso de Arquimedes, a principal diferença característica desta extrusora que difere do plastificador é a presença de um cabeçote de temperatura controlada que acumula borracha e tem pressão controlada através de um rolo, chamado de rolo NAR, que traciona a borracha facilitando o escoamento através da matriz, assim, a pressão no cabeçote é uma função da velocidade do rolo.

Como vimos anteriormente, a temperatura de saída da borracha que deve ser vigiada, é função da velocidade de rotação do parafuso e esta função é aproximadamente linear, porém, ao aumentar a velocidade do parafuso, estamos aumentando a taxa de cisalhamento e conseqüentemente diminuindo a viscosidade da borracha e o aumento da vazão, logo temos uma outra função entre a taxa de cisalhamento e a viscosidade do material caracterizando o comportamento não newtoniano da borracha.

A alimentação deve ser sempre vigiada através do enchimento do parafuso, ou seja, da monitoração do torque do motor que faz girar o parafuso, pois um parafuso vazio tende a deslocar a função rotação x temperatura gerando temperaturas mais elevadas prejudicando o produto.

As principais características do produto extrudado são espessura e largura que uma vez controlados diminuem a possibilidade de variação do perfil. A largura do produto é definida pela distância entre as facas de corte e a espessura pode ser indiretamente controlada através da monitoração do peso em um comprimento definido. Com isso, controlando o peso e largura, temos uma certa garantia de perfil.

A principal conseqüência da variação de pressão é a variação da espessura e do peso como será mais bem abordado no capítulo 5. Sendo assim, no processo de extrusão é extremamente necessário manter o controle sobre o valor de toque do motor pra diminuir a dispersão de processo e para a regulação do peso, devem-se fazer intervenções no valor da pressão. Na prática, não se atua diretamente no valor de pressão, o que se faz é controlar o peso através de uma balança de regulação que atua sobre um regulador de espessura que por sua vez atua sobre a velocidade do rolo NAR a fim de alterar a pressão para um valor adequado.

6.5 TAPETE DE TRAÇÃO

Durante o processo de extrusão, a borracha passou por um estiramento que estendeu as cadeias do polímero e, ao sair da extrusora, a componente elástica tende a se manifestar devido a esse estiramento e a borracha sofre retração, é o chamado efeito de “Die Swell”.

A medida em que a borracha vai resfriando, a retração tende a aumentar até que se chegue a um valor limite, ou seja, o relaxamento total da borracha. A função dos tapetes é controlar essa retração de modo a ter o produto mais relaxado possível para a enrolagem.

A velocidade do tapete influi na retração e conseqüentemente na espessura, largura e peso do produto para um dado comprimento, por isso o controle dessa velocidade é muito importante para o processo.

O controle é feito através de uma carta de ciclo numérico que compara o valor de retorno da velocidade do rolo de saída da extrusora, ou seja, o rolo NAR através de um encoder ao retorno de velocidade do motor do tapete multiplicado por um fator de redução, 98% por exemplo, a diferença entre estes sinais causa uma correção no freqüência do motor do tapete.

Dessa forma, temos que uma falha nesse sistema de controle ou uma não homogeneidade de tensionamento causada por uma mozza no rolo tracionador ou uma tração baixa no tapete como mostrado na Figura 13 pode acarretar em um problema de espessura e largura no produto.

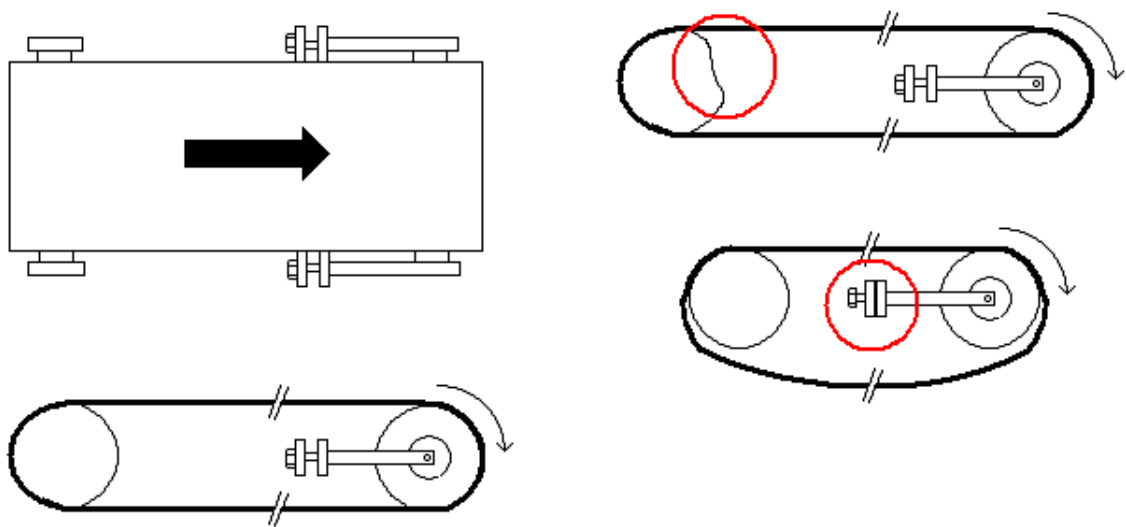


Figura 13: Potenciais de falha no tapete de tração

6.6 PROCESSO DE RESFRIAMENTO

O resfriamento pode ser feito de várias maneiras, mas o caso mais comum é uma com piscina onde o produto fica submerso, cuja temperatura é monitorada e controlada através de um trocador de calor.

Este sub processo não influencia de maneira significativa na espessura e largura do produto, porém é fundamental para que se consiga chegar à retração ideal para armazenamento, pois um produto frio está muito mais próximo da retração total.

6.7 TORRE DE ENROLAGEM

Como o nome sugere, a torre de enrolagem tem a função de enrolar o produto numa bobina com uma manta separadora geralmente de alumínio para evitar que o produto cole sobre si mesmo.

O principal parâmetro a ser imposto é a tração de enrolagem cujo controle e influência é exatamente a mesma que a do tapete de tração.

CAPÍTULO 7 - MONITORAÇÃO DE PARÂMETROS DA EXTRUSORA PRINCIPAL

Para realizar o monitoramento da extrusora, é muito importante que se faça uma análise detalhada sobre as principais partes da máquina para que se decida qual parâmetro influi na característica que se deseja monitorar.

Para o caso da análise que será feita no projeto, deseja-se monitorar a variação da espessura do produto no tempo e associar as freqüências de variação que gera a maior amplitude com o algum elemento da máquina para que se possa intervir.

A espessura do produto, principalmente da banda de rodagem, é fundamental para que se possa estimar o comportamento do pneu na pista. A freqüência de variação da espessura dá uma idéia de quantos picos de imperfeição ocorrerão ao longo de um perímetro de pneu. O número de imperfeições no perímetro é o chamado de harmônico do pneu. A amplitude desses picos é usada como parâmetro de qualidade do produto extrudado.

7.1 PARÂMETROS DO CABEÇOTE

A principal consideração a ser feita é como a espessura varia de acordo com a pressão, pois como já foi dito a espessura não é uma função linear da pressão, esta relação é chamada de curva de pressão que é uma relação estabelecida empiricamente.

As Figuras 14 e 15 detalham o interior do cabeçote de extrusão com rolo NAR e a variação de espessura devido à modificação do parâmetro pressão:

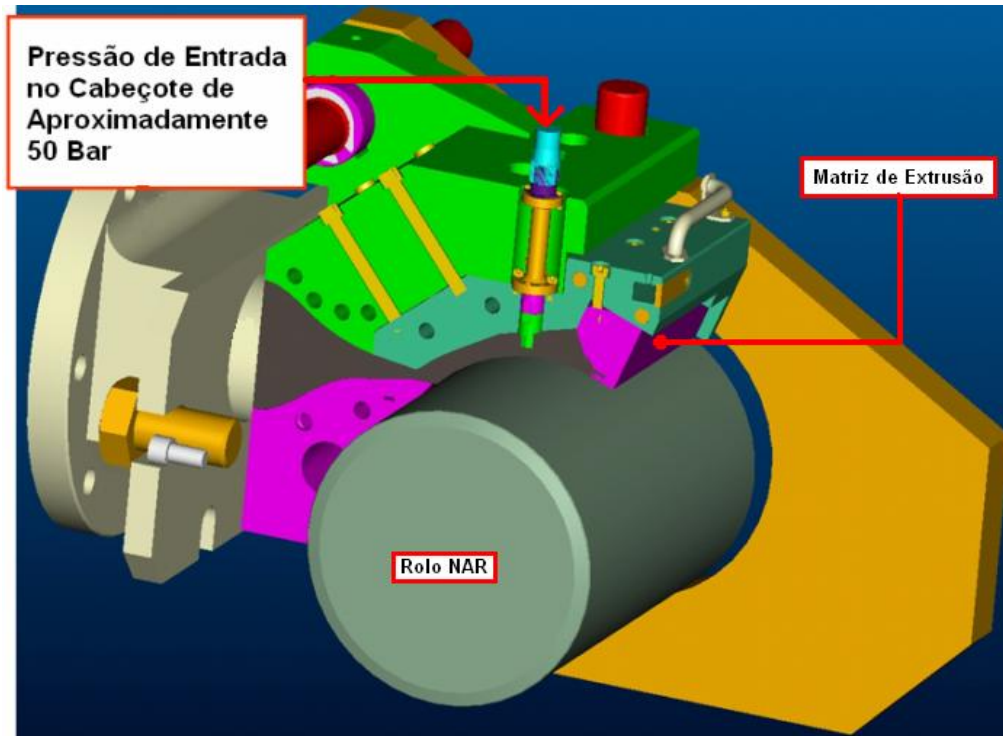


Figura 14: Detalhe do cabeçote de extrusão
 Fonte: Michelin (2004)

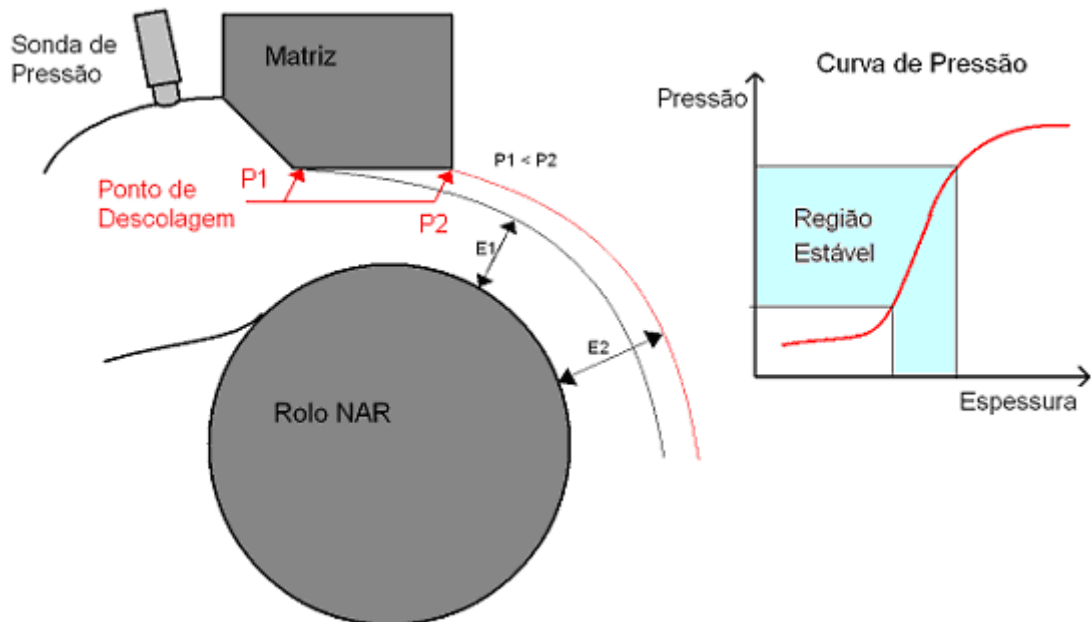


Figura 15: Relação entre pressão e espessura no cabeçote da extrusora principal.

Uma vez calculada esta relação, procura-se trabalhar na região mais estável para que não causar dispersão demasiada no processo, lembrando apenas que existe um controlador PID (Parcial Integral e Derivativo) que age sobre a velocidade do rolo em função da variação de pressão.

Sendo assim, será monitorada a velocidade do rolo, a pressão e a posição angular do parafuso de extrusão para análise de influência sobre variação de espessura.

7.2 PARÂMETROS DOS TAPETES

Devido ao fato de uma possível falha de controle e eventual não homogeneidade no coeficiente de atrito dos tapetes de tração, será feita a monitoração tanto da velocidade do tapete para analisar possíveis falhas de controle quanto da posição para avaliação da homogeneidade do tensionamento.

7.3 HARDWARE UTILIZADO

Par a aquisição de dados será utilizado um equipamento comercial da *National Instruments* com um chassi SCXI1000 e 1 módulo de comunicação SCXI1200. Os sinais analógicos são medidos e distribuídos entre, no máximo, oito canais para entrada analógica, quatro entradas para encoder e seis entradas “*tout ou rien*” assim como na fotografia da Figura 16.



Figura 16: Equipamento de aquisição de dados utilizado, a figura da esquerda mostra o equipamento da National Instruments com o chassi SCXI1000 e os módulos de comunicação, a figura da direita mostra o equipamento criado pela Michelin para distribuição dos sinais analógicos

7.4 MÉTODO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Atualmente, as indústrias avaliam somente a influência dos equipamentos na espessura do produto, ou seja, ela adquire sinais de espessura, identifica a frequência em que ocorre a maior amplitude de variação e busca na máquina sinais com esta frequência a fim de solucionar algum tipo de problema o que já é uma prática bem eficiente.

Neste projeto estaremos também fazendo este tipo de análise, porém, a inovação acrescentada será a avaliação da malha de controle de pressão no nariz da extrusora principal a fim de propor algum tipo de melhoria.

7.4.1 Influência dos equipamentos na espessura do produto

Como já foi dito esta é uma análise já realizada pelas indústrias que será refeita, para tal, foi instalado um LVDT (Captor de Variação de Deslocamento Linear) acoplado a um mecanismo específico sobre o rolo NAR para medição de dados de espessura como mostrado na Figura 17, que foi criado especialmente para a análise deste projeto, uma sonda de pressão instalada no cabeçote da extrusora, uma fotocélula na parte traseira do parafuso e uma no tapete de lançamento para medição de sinais do tipo binário por volta, ou seja, pulsos por volta, além disso, serão medidos sinais de velocidade do rolo NAR e largura do produto próximo à enrolagem através de um sistema de câmera de vídeo, chamado de sistema de visão.

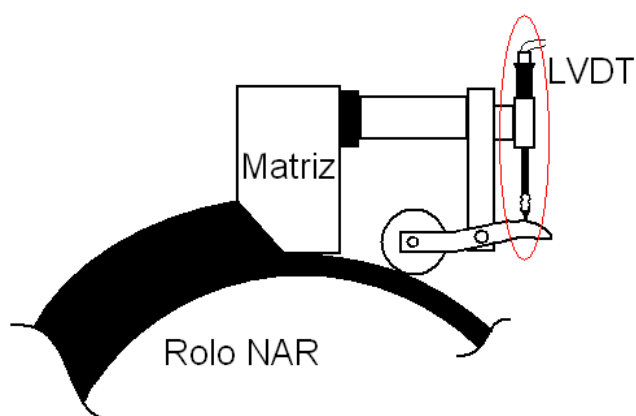


Figura 17: Mecanismo utilizado para o medição do sinal de espessura sobre o rolo NAR

A menor frequência esperada na análise é a do sinal do tapete de lançamento, pois este tem um tempo de ciclo é em torno de 1 minuto, sendo assim não se pode usar um tempo de aquisição menor que este. Já a maior frequência esperada na máquina é proveniente da fotocélula geradora de pulsos na traseira do parafuso, em torno de 0,05 Hz.

Existe então uma limitação na escolha da frequência de aquisição e do número de pontos utilizados em função da resolução em frequência necessária, uma boa escolha para isso é 10Hz como frequência de aquisição e 6000 pontos, ou seja, tempo de aquisição de 10 minutos.

Esta escolha cobre, aproximadamente, 10 voltas do tapete e nos dá uma resolução em frequência de $10/6000 = 0,001$ Hz o que é suficiente para esta análise.

É extremamente importante que a máquina esteja em regime permanente durante todo o tempo de aquisição, ou seja, as condições de alimentação estejam controladas e estabilizadas, as temperaturas de extrusão sejam mantidas com mesmo parâmetro e a velocidade do parafuso não pode derivar, pois não esperamos que estes parâmetros causem algum tipo de variação cíclica nas características do produto. Sabemos que qualquer variação na condição de alimentação afeta o torque do motor do parafuso e, em função disto, estaremos monitorando sinais do torque do motor do parafuso apenas para garantir que as condições de alimentação não derivaram.

Além disso, também para efeito de garantia, estaremos monitorando a velocidade do parafuso.

A Figura 18 esquematiza o aparato necessário para o método desta seção.

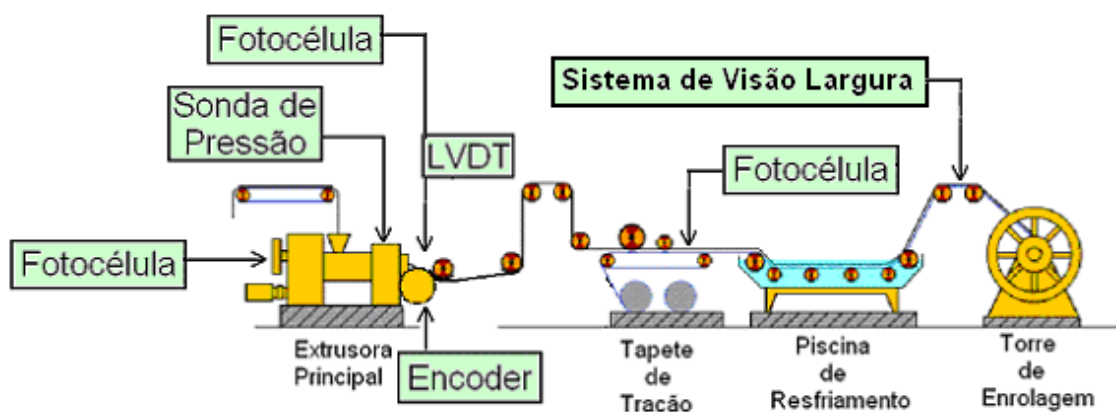


Figura 18: Método de análise da influência dos equipamentos na espessura do produto

7.4.2 Correlação entre sinais de pressão e velocidade do rolo

Agora iremos descrever a análise que até então não é prática da Michelin, ou seja, queremos avaliar as características da malha de controle de pressão e propor alguma melhoria futura.

Para esta análise os tapetes não serão monitorados e, por isso, não existe mais a necessidade de se utilizar um tempo de aquisição longo, pois o que se quer verificar é a correlação entre os sinais de pressão e velocidade do NAR e, conseqüentemente um diagnóstico da malha de controle PID.

A freqüência de aquisição utilizada será de 16 Hz e o número de pontos igual a 200, ou seja, 11 segundos de tempo de aquisição para que o efeito parafuso, que será melhor explicado na análise da seção 8.1 não seja pronunciado. Sendo assim a resolução em freqüência é de $16/200 = 0,08$.

A mesma condição de estabilidade deve ser respeitada para uma análise mais precisa dos efeitos envolvidos e um diagnóstico mais preciso sobre o sistema de controle.

A Figura 19 esquematiza o aparato necessário para o método da seção 6.4.2:

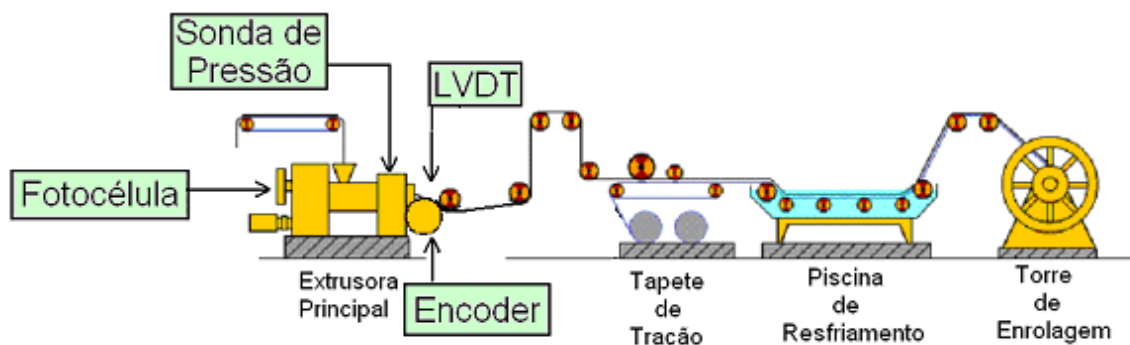


Figura 19: Método de análise da malha de controle.

CAPÍTULO 8 - ANÁLISE DOS SINAIS

Para esta análise, foi utilizado o software criado pelas indústrias em *labview* para realizar as Transformadas de Fourier, é claro que a utilização de softwares matemáticos como o Matlab seria muito útil, porém como o que foi criado pelas indústrias é específico para este tipo de análise, ele possui ferramentas práticas que facilitam a leitura dos arquivos *.asc gerados na aquisição além da manipulação dos dados de maneira simples. Para este projeto, a confiabilidade dos resultados gerados pelo software foi comprovada ao comparar seus resultados com os obtidos pelo Matlab.

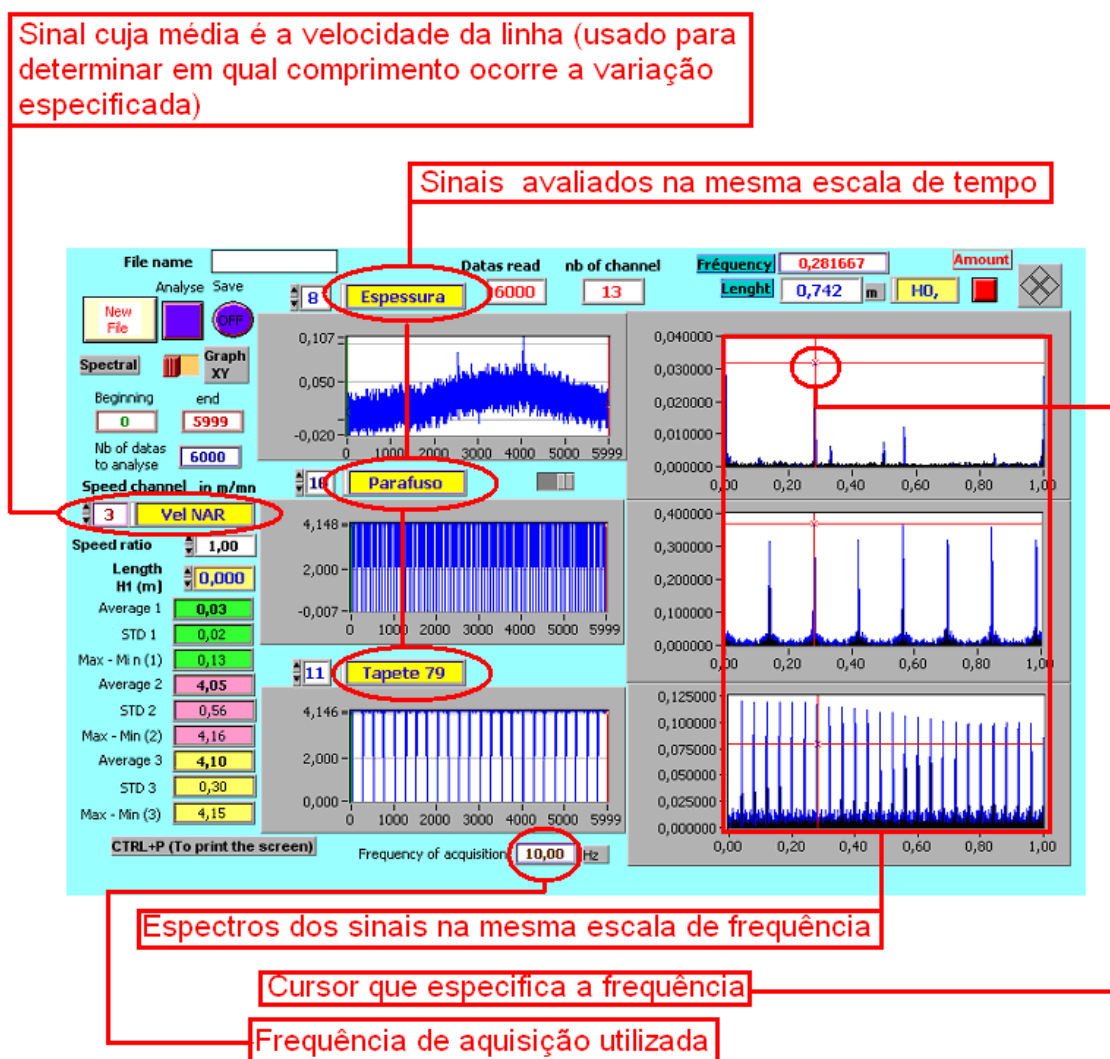


Figura 20: Detalhamento do software utilizado

8.1 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS NA ESPESSURA DO PRODUTO

Nesta análise, cujo procedimento foi descrito na seção 6.4.1, o espectro do sinal do LVDT, espessura da banda de rodagem foi obtido e comparado com os sinais de pulsos o parafuso e do tapete de tração e está representado na figura 20.

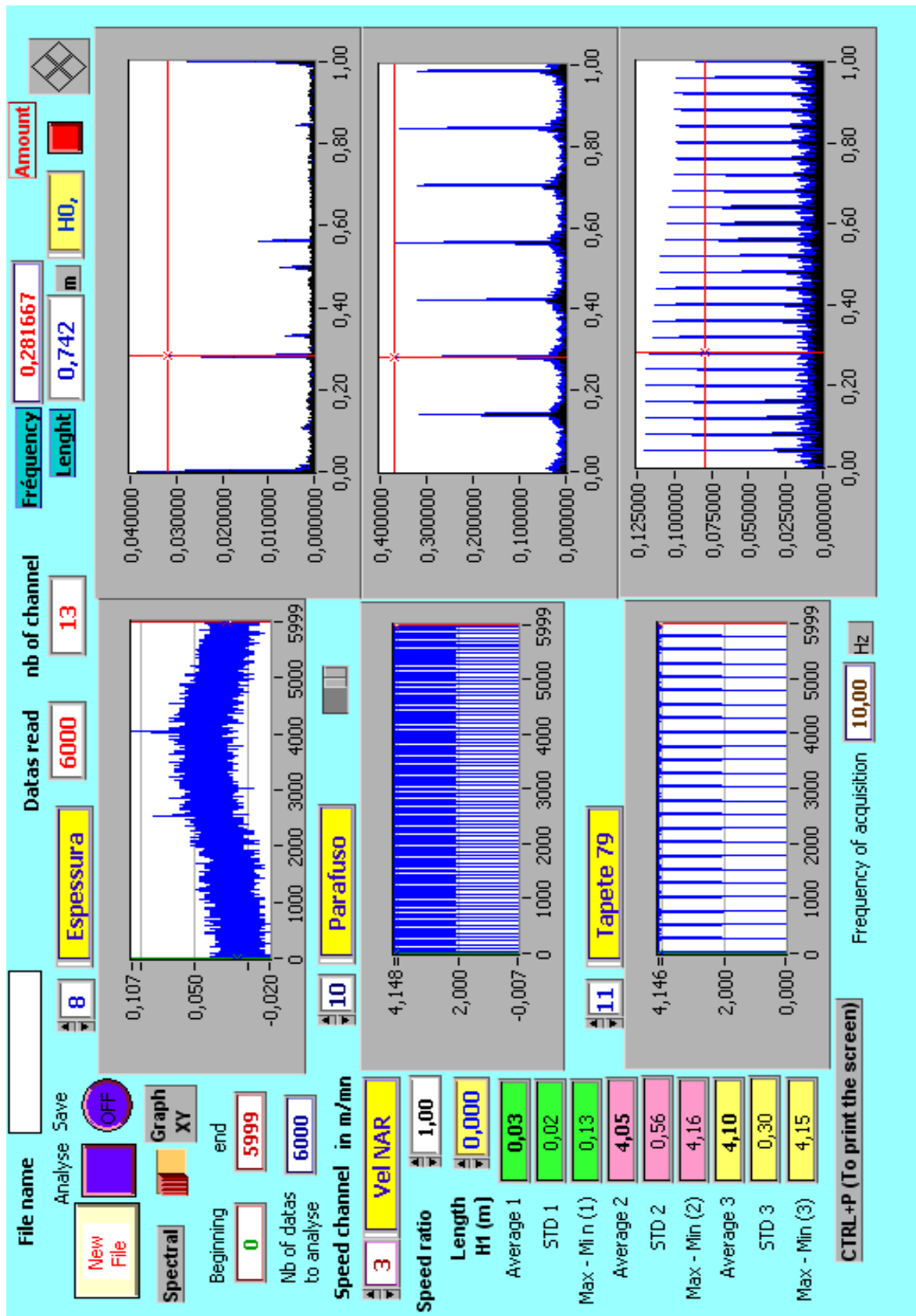


Figura 21: Comparação entre os espectros dos sinais de espessura (LVDT) e do parafuso (Fotocélula).

A Figura 21 mostra que a maior amplitude de variação da espessura do produto é de, aproximadamente, 0,032 mm ocorrendo a uma freqüência de 0,28 Hz, porém não exibe a média do sinal de velocidade do rolo NAR que é de 9,53 m/min

Ao comparar com o espectro dos pulsos da fotocélula do parafuso, percebemos que existe uma associação entre a freqüência de 0,28 Hz da espessura do produto com o segundo pico do sinal da fotocélula que ocorre na mesma freqüência de 0,28 Hz. Existe uma relação entre o espectro do sinal de pulsos e o número de voltas do parafuso que está representada na figura 22. Dessa forma, o primeiro pico de espessura corresponde a uma volta do parafuso, o segundo a meia volta do parafuso, o terceiro a um quarto de volta e assim sucessivamente.

Temos então que a maior amplitude de variação de espessura ocorre a uma freqüência de 0,28 Hz e está associada a meia volta do parafuso de extrusão. Tendo em vista que se trata de um parafuso com dois filetes, temos um pico a cada passagem de filete, ou seja, meia volta.

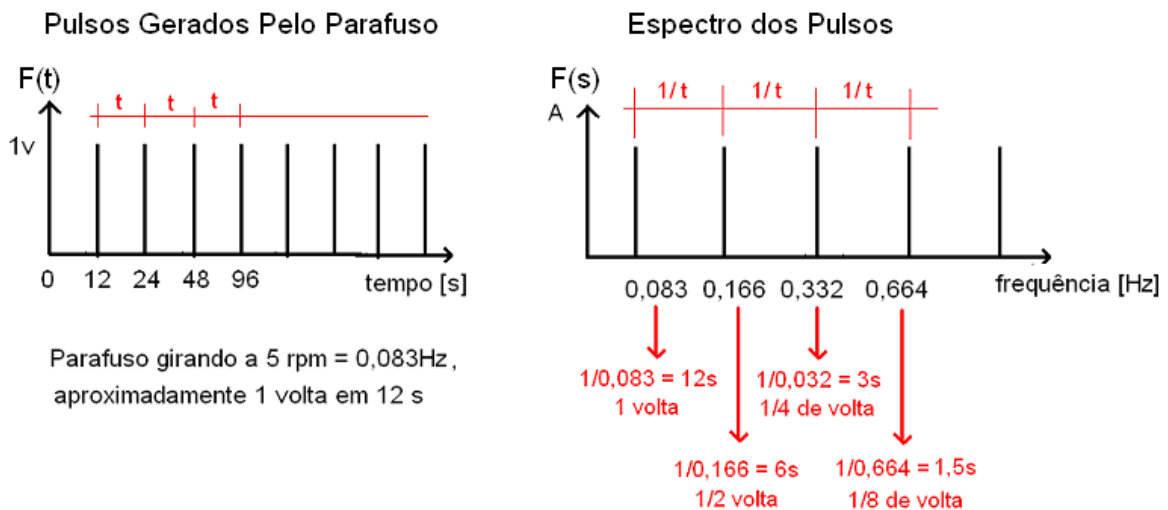


Figura 22: Relação entre o espectro de um sinal de pulsos do parafuso e o nº de voltas do parafuso.

Ainda na Figura 24, podemos perceber que não há associação entre o sinal de espessura e o sinal de pulsos do tapete, o que era esperado, pois a leitura de espessura é feita na saída da extrusora e o sinal do tapete é tomado no final da linha, portanto não existe mesmo influência do tapete na espessura tomada pelo LVDT.

Além do maior pico que ocorre, o leitor pode questionar o fato de existirem mais três picos significativos, de fato isto aparece no sinal, porém não é uma característica do produto, pois como podemos ver na Figura 22, o segundo pico do sinal do LVDT ocorre a uma frequência de 0,33 Hz aproximadamente e está associada ao dois picos do espectro do sinal de pulsos da fotocélula instalada sobre o rolo NAR, portanto está associada à meia volta do rolo. Na prática deve haver uma imperfeição, ou seja, uma ovalização do rolo NAR e como o LVDT está apoiado sobre ele, esta ovalização gera uma variação de leitura que não é uma variação de espessura do produto.

Os outros dois picos que ocorrem entre 0,5 Hz e a 0,6 Hz também não são variações do produto, pois esta faixa de frequência corresponde a velocidade de rotação do mecanismo sobre o qual o LVDT foi montado, portanto esses picos correspondem a uma imperfeição no mecanismo do LVDT ou alguma folga existente no pequeno mancal deste mecanismo.

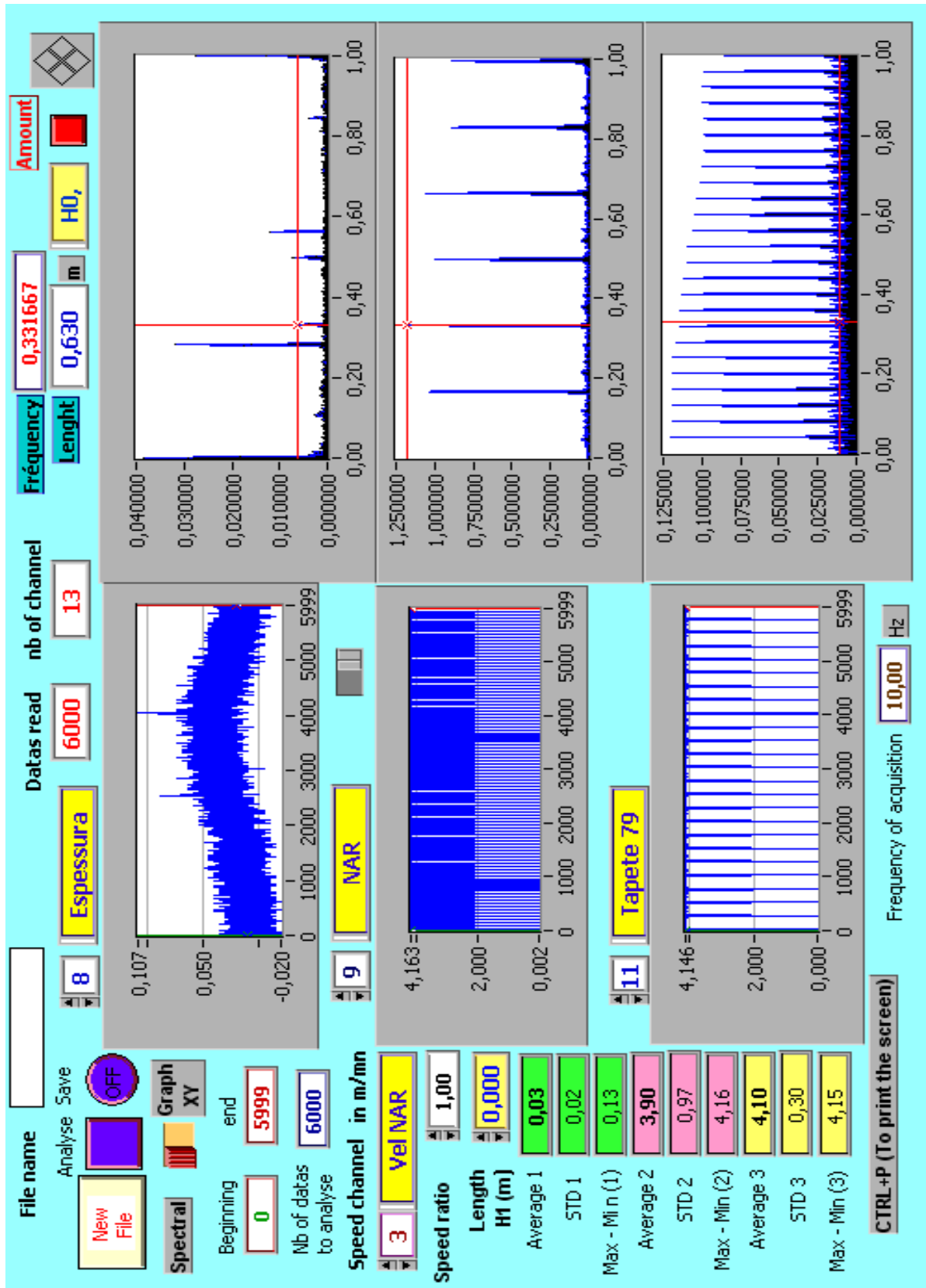


Figura 23: Comparação entre os espectros dos sinais de espessura (LVDT) e do rolo NAR (Fotocélula).

Ainda podemos avaliar a influencia do tapete sobre o produto, para isso temos de fazer uso do sinal de largura do sistema de visão, pois este está posicionado posteriormente ao tapete e acreditamos que um problema no tapete irá causa uma variação mais pronunciada na largura do que na espessura do produto.

Ao fazer a transformada do sinal de largura assim como representado na Figura 26, percebe-se um pico de variação da ordem de 0,6 mm com uma freqüência de 0,04 Hz que não está associado ao parafuso, porém ao comparar com o espectro do sinal de pulsos do tapete de tração, percebemos que há uma associação entre a variação de largura e o primeiro pico do espectro do sinal do tapete, logo a associação se dá para uma volta completa do tapete de tração analisado. Ainda existem outros picos de variação de largura que estão associados ao tapete de tração, a maioria deles está associado a variações de velocidade do parafuso como mostra a Figura 24.

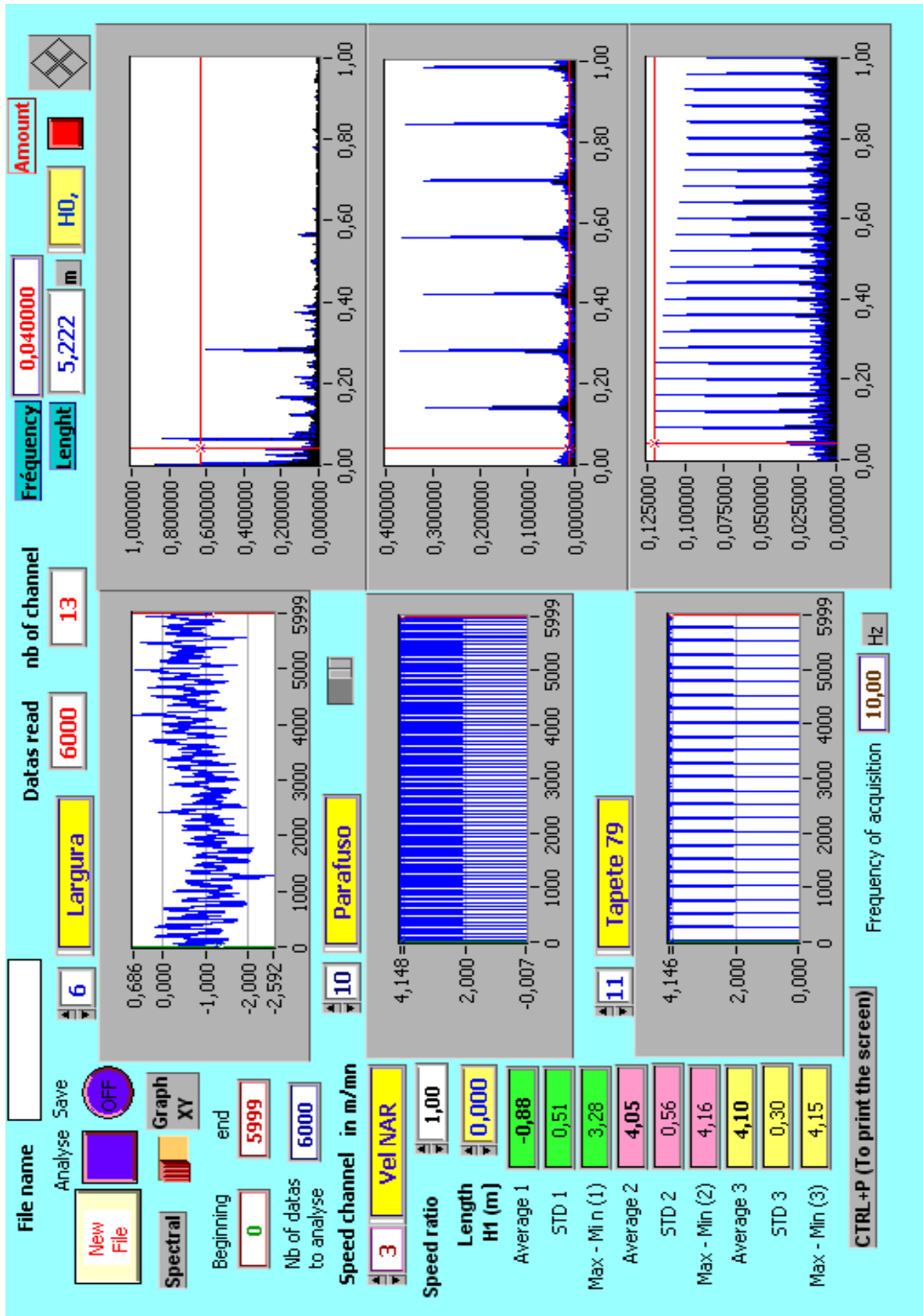


Figura 24: Comparação entre os espectros dos sinais de largura (Visão Portátil) e do tapete de tração (Fotocélula)

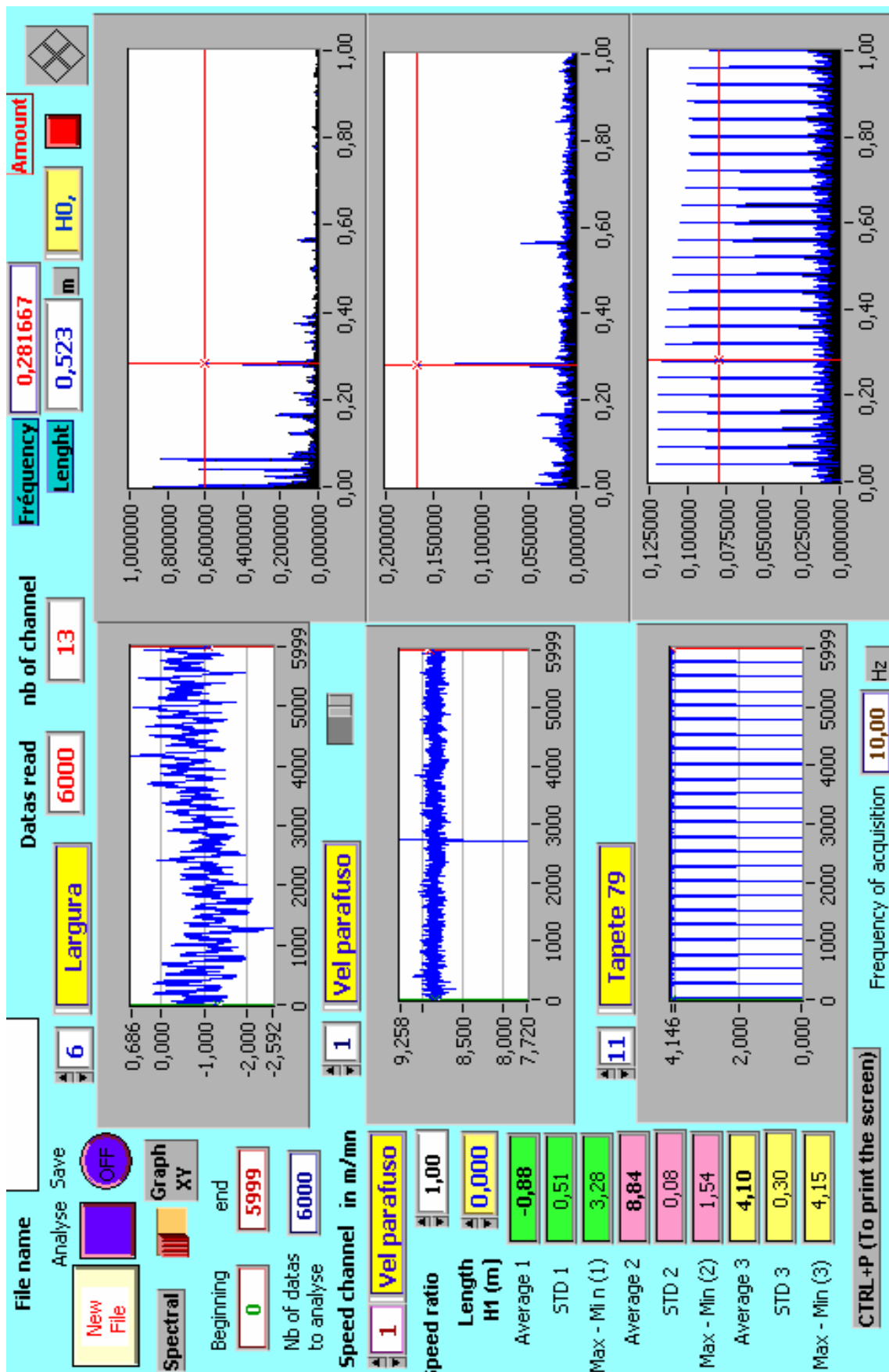


Figura 25: Comparação entre os espectros dos sinais de largura (Visão Portátil) e de velocidade do parafuso.

8.2 ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE PRESSÃO E VELOCIDADE DO ROLO.

A indústria previu em um software a necessidade de se fazer análises de correlações de sinais, porém, o propósito não era o que está proposta neste projeto, a intenção do criador do software era de apenas traçar um curva de regressão linear para entre sinais de peso e espessura, por exemplo, para facilitar a pilotagem do processo, ou seja, saber quantos pontos seriam necessários variar na espessura para se obter uma desejada variação de peso, no entanto.

Sabemos que em algumas fabricas da Pneu no Brasil e em outros países utilizam-se diferentes tipos de parâmetros PID como o tempo de resposta, o ganho do controlador e o percentual de correção de acordo com a mistura que esta sendo processada na extrusora.

A idéia deste projeto é determinar a característica da regulação do controlador PID quantificando o coeficiente de correlação entre os sinais de entrada e saída do controlador para que no futuro seja possível variar empiricamente os parâmetros PID e quantificar o efeito causado em busca de uma melhor performance.

Para esta análise que foi feito um diagrama XY, cujo eixo Y são os dados de velocidade do NAR, ou seja, a resposta do controlador e o eixo X são os dados de pressão, ou seja, a leitura do controlador, portanto trata-se de uma figura de *Lissajous* que pode ser usada inclusive para avaliar o atraso de fase dos sinais ou para calcular o coeficiente de correlação destes. É fato que quando o atraso de fase aumenta, o coeficiente de correlação referenciado na seção 7.2 diminui e vice-versa, podemos então medir de forma indireta o atraso de fase entre dois sinais.

Na Figura 26, podemos ver este diagrama de dispersão e percebemos que a equação da reta de regressão linear dada pelo programa, mas que não é importante para esta análise, é: $Vel\ NAR = -0,01 * Pressão + 8,65$.

O desvio padrão calculado para os dados do eixo Y é 0,0408, o que também não nos interessa e o coeficiente de correlação que se desejava medir é igual a -0,77, portanto trata-se de uma correlação negativa que era esperado pois quando a velocidade do rolo NAR aumenta, a pressão diminui como já foi visto. Além disto, o valor de 0,77 indica uma forte correlação, entre estes sinais, portanto um baixo atraso de fase cuja análise dos sinais no tempo nos permite dizer que é inferior a 0,1 segundos.

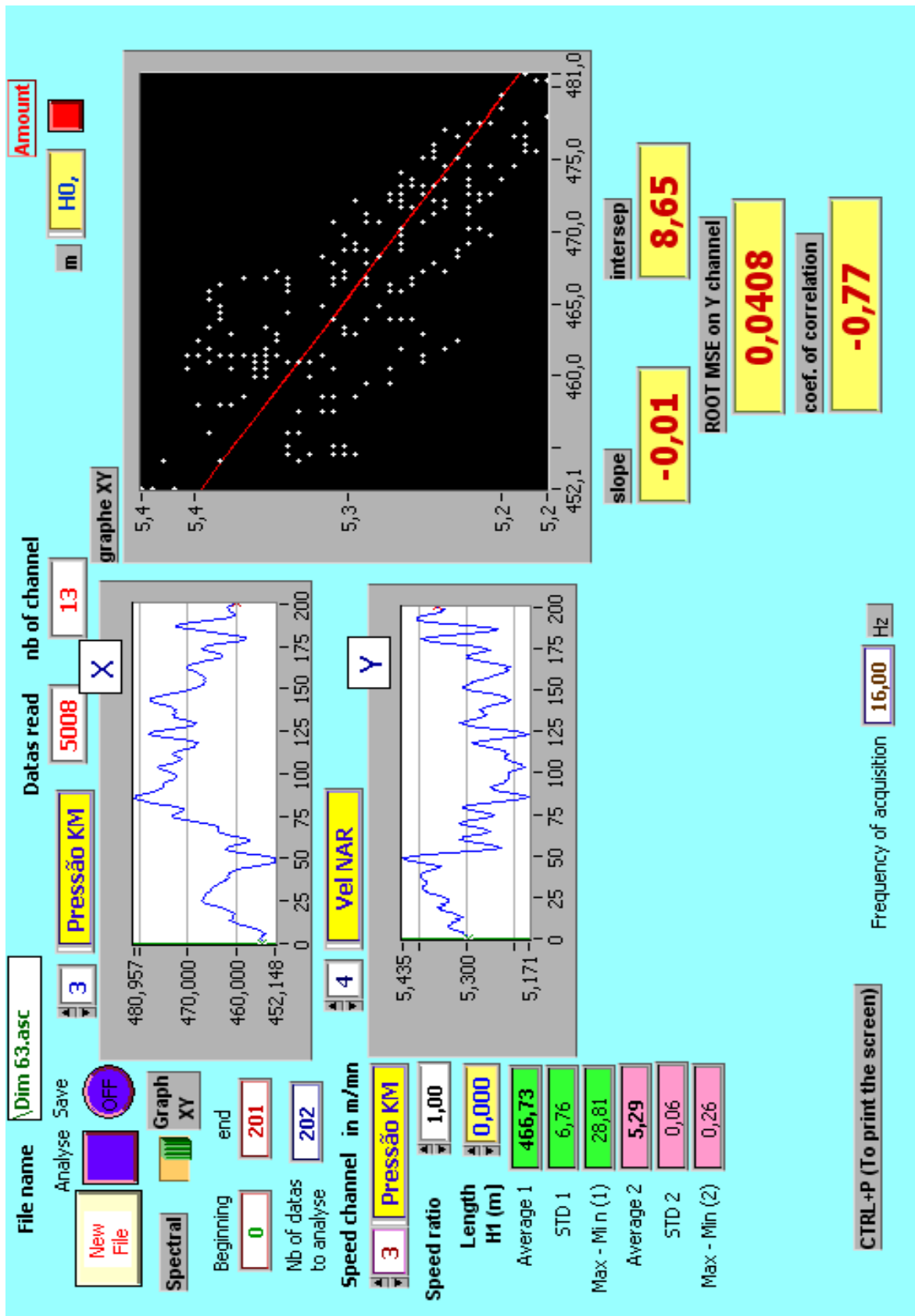


Figura 26: Gráfico de dispersão entre os sinais de velocidade do rolo (eixo y) e pressão (eixo x)

CAPÍTULO 9 – PROCESSO CO-EXTRUDADO

O processo de co-extrusão, é uma nova tecnologia, que está sendo utilizado pelas indústrias na fabricação da banda de rodagem. Este processo tem a grande vantagem de poder extrudar varias tipos de borracha ao mesmo tempo. As máquinas que possuem este processo são chamadas de CO-Extrusoras, por possuírem até 4 parafusos.

9.1 CABEÇA DE EXTRUSÃO

As COEX, como são popularmente conhecidas no meio industrial, não possuem rolo NAR, cabeçote de pressão e não possuem também a regulação pressão x espessura. A Figura 27 mostra a cabeça de extrusão de uma COEX de 3 parafusos, onde a borracha se arrasta através dos insertes Figura 28, 29 e 30.

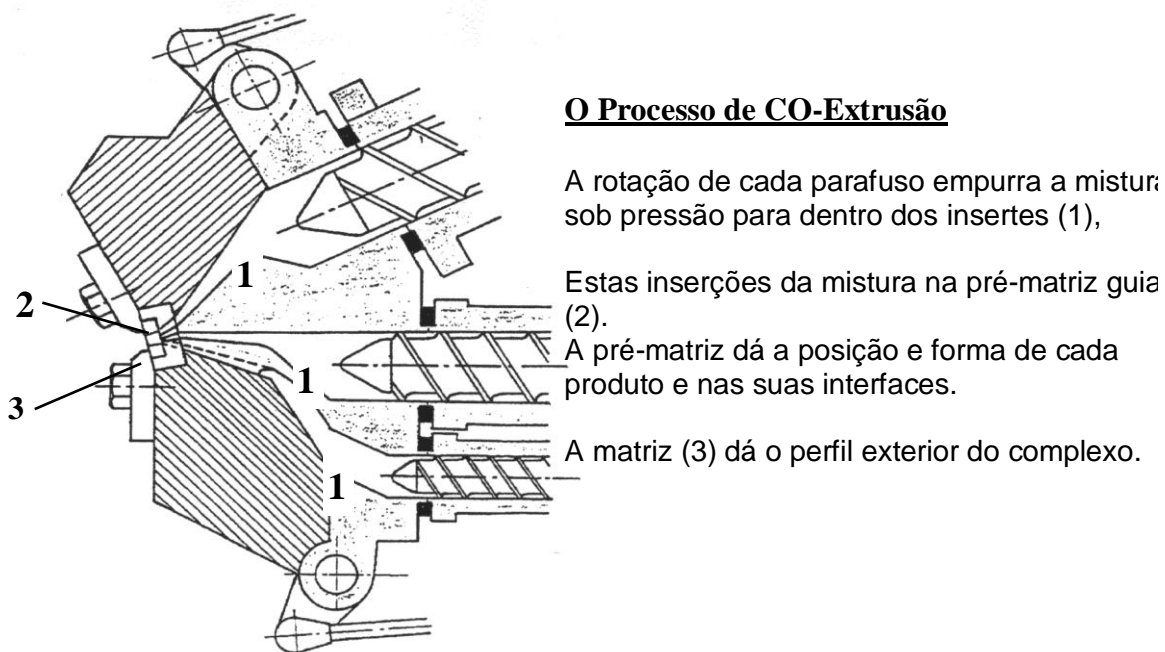


Figura 27: Cabeça de extrusão de CO-Extrusora de 3 parafusos

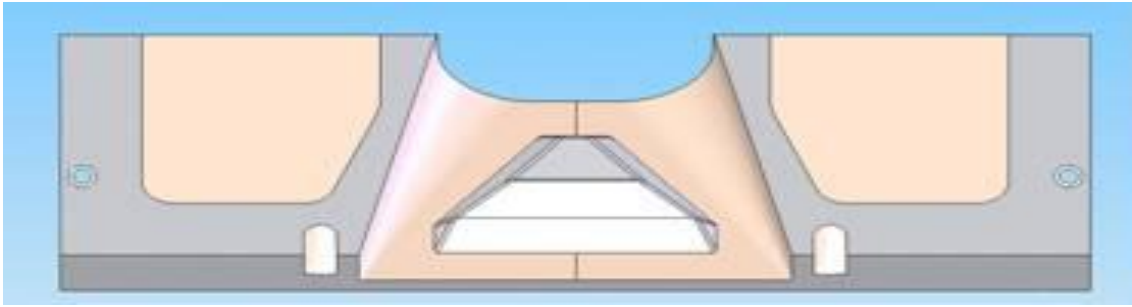


Figura 28: Insete de CO-Extrusora



Figura 29: Insete bi-partido



Figura 30: Parte externa dos Insetes bi-partidos

A cabeça de extrusão é dotada de um inserte para cada parafuso, que tem por finalidade canalizar o fluxo na saída do parafuso. Esta borracha extrudada está muito nervosa, pois sofreu todo o processo de cisalhamento, estes canais ajudam a pré-moldar a borracha diminuindo o efeito "Die Dwell". Na saída dos insertes como mostrado na Figura 31, a borracha começa a tomar forma, porém ainda não ao perfil desejado. É utilizado um outro componente chamado de Pré-matriz Figura 32, que canaliza o volume desejado para obtenção do perfil na matriz principal Figura 31.

Todo processo de regulação é realizado pelo volume de borracha que entra no parafuso, pois não existe rolo NAR nem regulação pressão x espessura.

Os etapas do processo de regulação de rapetes, resfriamento e enrolagem se assemelham ao processo de extrusão clássica.

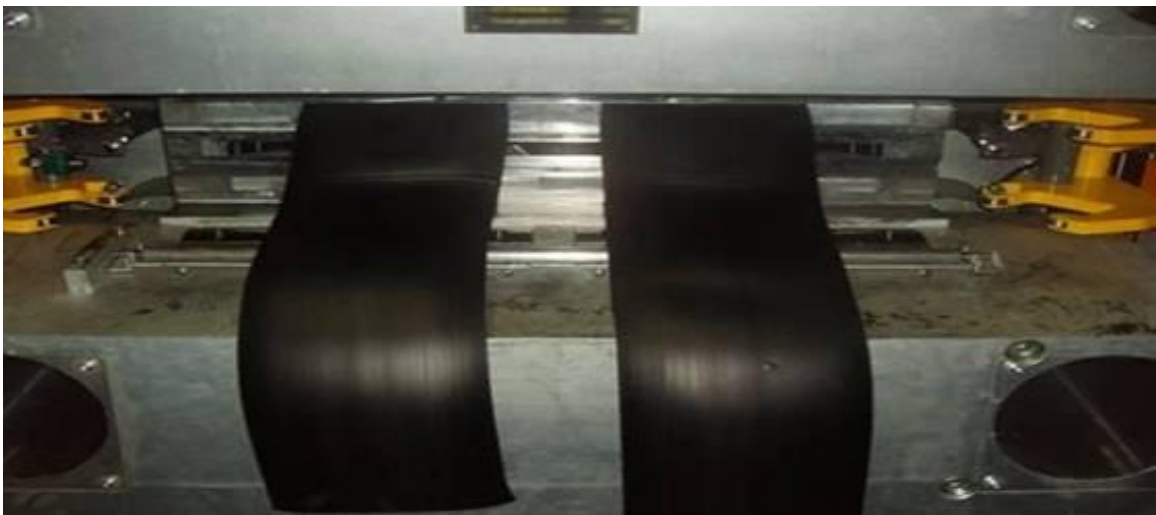


Figura 31: Parte externa dos Insertes bi-partidos saindo a borracha processada

9.2 PRÉ-MATRIZ e MATRIZ

A pré-matriz por ser muito complexo seu desenvolvimento e fabricação, adotou-se fabricá-la em 2 etapas. Primeiro se desenvolve a pré-matriz Mãe que pode ser utilizado para vários tipos de produtos e depois se desenvolve a pré-matriz Bebê que é a parte que direciona o volume de borracha para matriz extrudar, Figura 32 e 33.

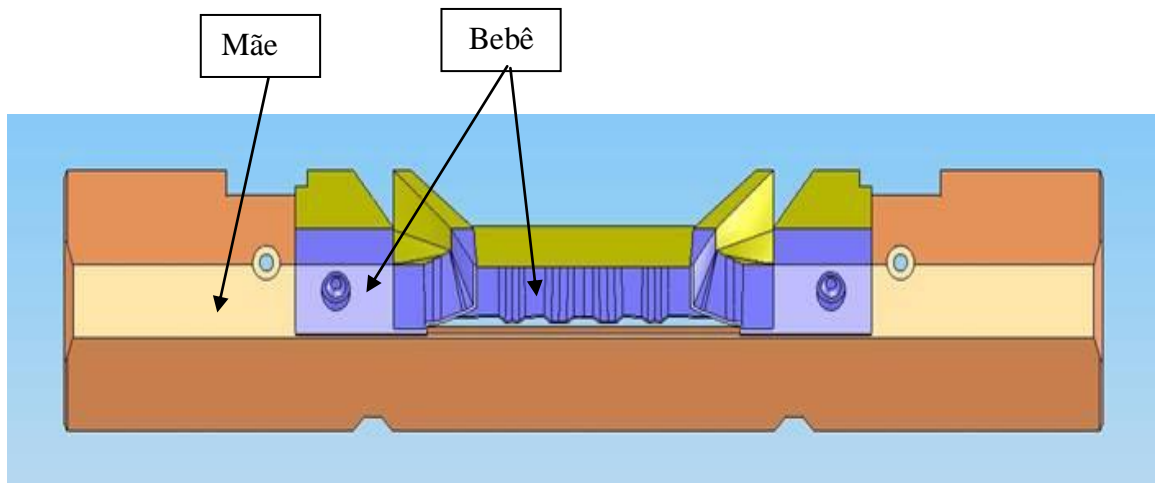


Figura 32: Pré-matriz Mãe e Pré-matriz Bebê

A matriz somente dá o perfil extremo do complexo de borracha a ser fabricado.

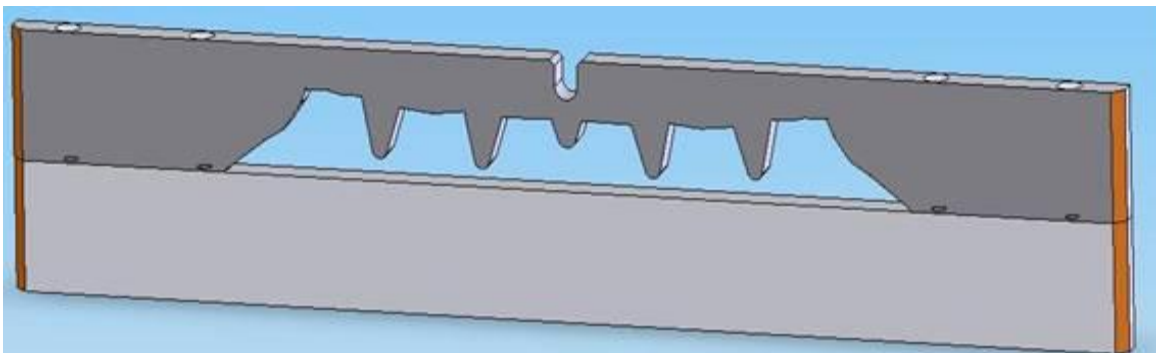


Figura 33: Matriz para CO-Extrusora

CAPÍTULO 10 – MATRIZES DE EXTRUSÃO

Dentre todos os tipos de extrusoras , existe uma parte deste equipamento que fornece o perfil externo do produto a ser perfilado. A Matriz de Extrusão, normalmente fabricadas em 2 tipos de materiais, o alumínio ou o aço.

10.1 MATRIZ DE ALUMÍNIO

As matrizes de alumínio, ou melhor Duro-alumínio, normalmente são utilizadas na sua maior parte em extrusoras dotadas de rolo NAR, como visto na Figura 34, 35 e 36. Essas matrizes são usinadas em desenhos geométricos para obtenção do perfil desejado. Este desenhos geométricos respeita-se técnicas e orientações para sua definição, tipo: A vazão de borracha no centro da matriz é sempre maior que nas extremidades, para extrusão de borracha sintética é necessário que a matriz seja polida.

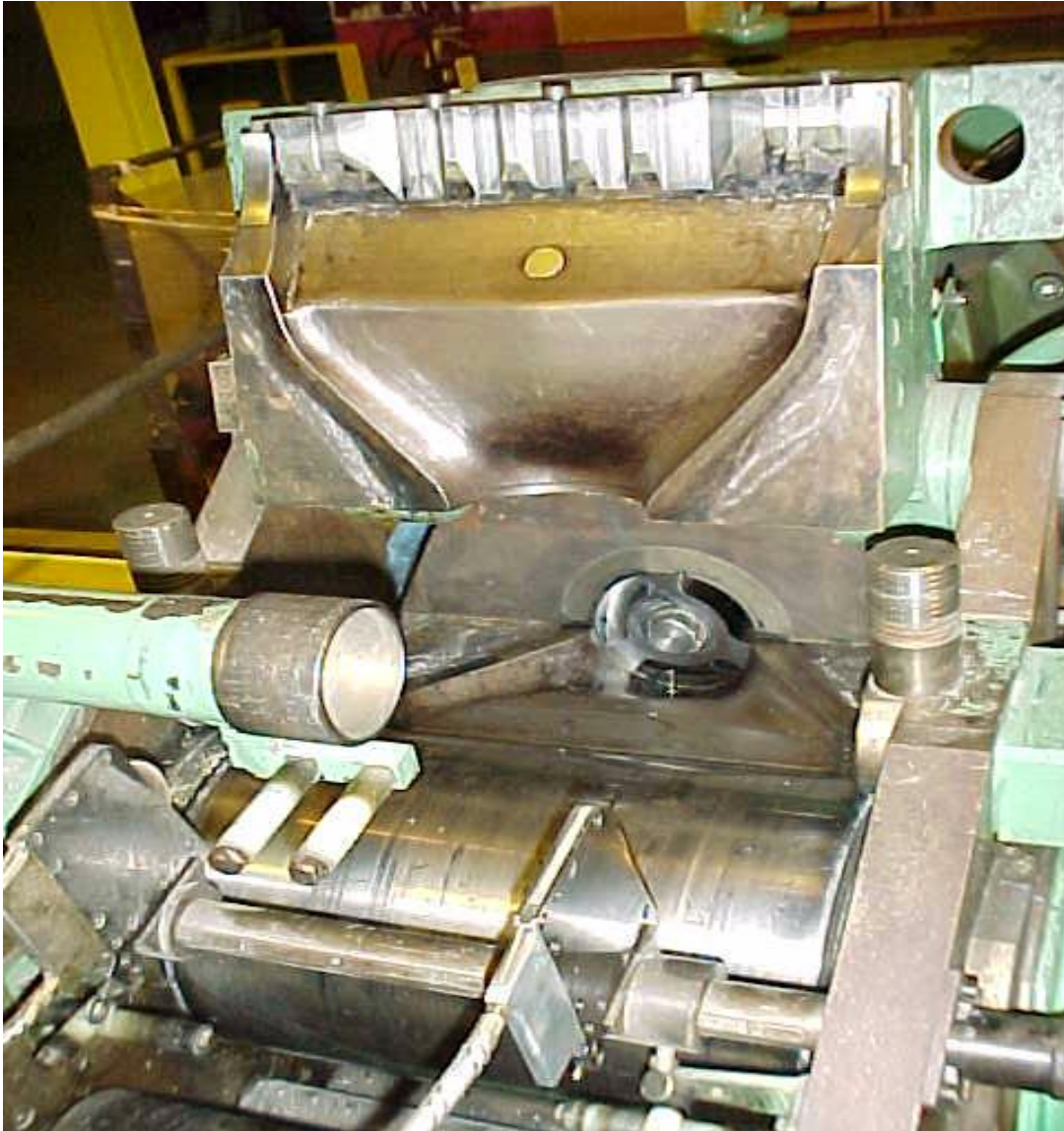


Figura 34: Martiz interior de uma extrusora



Figura 35: Martiz em alumínio polido



Figura 36: Matriz sem polimento

10.2 MATRIZ EM AÇO

As matrizes em aço, Figura 33, normalmente são utilizadas em COEX's, pois por não terem rolo NAR para facilitar a saída da borracha e o processo ser por arrasto, a pressão na cabeça de extrusão é muito alto, cerca de 220 bar, sendo assim é necessário um material de alta resistência. O processo de definição do desenho geométrico é o mesmo utilizado para matrizes de alumínio.

CAPÍTULO 11 - CONCLUSÃO

Das análises do capítulo 6 e das considerações de performance do pneu, podemos agora chegar às conclusões sobre a extrusora e o sistema de controle.

Podemos considerar como uma primeira conclusão, já que a cada 0,1 mm de variação de espessura temos aproximadamente 6daN de variação de esforço radial na Monocid, temos que o processo analisado contribui com, aproximadamente 0,2 daN para o critério de variação radial, pois a amplitude de variação encontrada na espessura da banda de rodagem foi de 0,032 mm. Este valor é considerado muito baixo, portanto o processo é capaz neste critério de uniformidade, pois só consideramos ruim aquele processo cuja variação de espessura seja maior do que 0,1 mm, 6 daN de variação de esforço na Monocid.

Esta conclusão já era esperada, pois como a amplitude de variação aumenta quando o desgaste do parafuso é alto e o parafuso analisado tinha apenas duas semanas de uso, não poderíamos esperar um resultado ruim. Podemos utilizar este método para determinar a troca do parafuso da extrusora

Como uma segunda conclusão, consideramos que o comprimento de uma banda de rodagem num pneu para a dimensão analisada e de 3,2 m e a velocidade linear média do rolo NAR é de 9,53 m/min, temos que o chamado valor de harmônico é $(0,281 \cdot 60) \cdot 3,2 / 9,53 = 5,994$. Sendo assim, o harmônico gerado é de sexta ordem, ou seja, um parafuso desgastado irá provavelmente causar uma variação radial no harmônico H6 para esta dimensão.

É importante lembrar que a alteração da velocidade do parafuso na receita irá causar uma completa variação do resultado desta análise, pois harmônico gerado e sua amplitude irão mudar uma vez que num parafuso girando a uma velocidade maior, por exemplo, a taxa de cisalhamento aumenta e conseqüentemente o índice de fluidez da borracha aumenta facilitando o escoamento, os filetes começam a passar num intervalo menor de tempo e a resposta em velocidade do NAR não varia linearmente com a velocidade do parafuso isso deteriora a análise feita neste projeto, pois as frequências de variação de espessura e a velocidade do NAR irão mudar de maneira independente.

A terceira conclusão, como já foi dito, refere-se à variação observada no sinal do LVDT associada a meia voltar do rolo NAR, nada mais é do que um falso redondo do rolo, pois como o LVDT foi instalado sobre este, a imperfeição de forma causa uma influência de medida. Considerando que este rolo é importado e extremamente caro, não é recomendada a troca uma vez que não afeta a qualidade do produto. Quanto à

variação de largura devido à variação de velocidade do parafuso, fica caracterizado um problema de controle que deve ser investigado pelo setor de manutenção.

Podemos obter como uma quarta conclusão, que o tapete de tração está causando uma variação 0,6mm de largura pouco pronunciada em termos de espessura, mas que representa um problema e deve ser corrigido, verificando o estado de conservação do tapete, o estado da sua emenda, a condição dos rolos sobre os quais ele foi montado, se ele está corretamente tensionado ou, se tudo isso for resolvido e o

O importante agora é fazer uso deste novo método para determinar empiricamente uma regulação ótima para cada tipo de produto e evolução do desgaste das peças gerando ganhos de qualidade, pois com isso, esperamos reduzir as variações e aumentar a vida útil do parafuso que vem sendo cada vez menor em função das novas misturas contendo bromo, que é usado para melhorar as propriedades do pneu, tendem a desgastar mais rapidamente as peças que entram em contato com a mistura.

A aplicação deste novo método só é viável para a fabricação da banda de rodagem, pois como este método requer muito tempo e recurso técnico para ser aplicado, a banda de rodagem é o único produto cuja importância viabiliza este tipo de análise. Mas com a tecnologia das CO-Extrusoras que não tem rolo NAR e a saída da borracha se dá por arrasto, os picos harmônicos do parafuso não é percebido no pneu durante a análise em monicid ou durante a rodagem, garantindo assim, ao utilizadosres de pneu fabricados no processo de Co-extrusão melhores resultados de performance.

REFERÊNCIAS

BARBALAT, Fabian. **Uniformité**. Rio de Janeiro: Michelin, 2007.

CARVALHO FILHO, Túlio S.(2002). **História do Pneu**. Disponível em:
<http://br.geocities.com/cprvce/Infomacoes_uteis/saiba_sobre_pneu.htm> Acesso em: 05 maio. 2007.

DA ROCHA, Adson Ferreira. **A Transformada Discreta de Fourier (DFT)**. 2005.

EMPRESA BRAZILTIRES, BRAZIL TIRES LTDA. (2006). **Saiba Tudo Sobre Pneus**. Disponível em: <<http://www.braziltires.com.br/tudosobrepneus/pneus.html>> Acesso em: 29 out. 2007.

KUME, Hitoshi. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**. 1 ed. São Paulo: Ed. Gente, 1993.

MANDAL, MRINAL, ASIF, AMIR (2006). **Continuous and Discrete Time Signals and Systems**. Cambridge, Cambridge.

MANO, Eloisa Bismoto, MENDES, Luís Cláudio (1985). **Introdução e Polímeros**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blucher.

MICHELIN. **Composição e fabricação de um pneu**. Rio de Janeiro, 2004.

SANTOS, Willian (2005), **A História da Borracha**. Disponível em:
<<http://www.winltda.com.br/Hist%F3ria%20da%20Borracha.htm>> Acesso em: 20 nov. 2007.