

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ANDRÉ DE CAMARGO E SILVA

Espumas flexíveis de poliuretano: Produção e Conforto

SÃO PAULO

2006

ANDRÉ DE CAMARGO E SILVA

Espumas flexíveis de poliuretano: Produção e Conforto

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a obtenção do título de Engenheiro de Materiais

Área de Concentração: Polímeros

Orientador: Prof. Dr. Hélio Wiebeck

SÃO PAULO

2006

FOLHA DE APROVAÇÃO

André de Camargo e Silva

Espumas flexíveis de poliuretano: Produção e Conforto

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Engenheiro de Materiais

Área de concentração: Polímeros

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Hélio Wiebeck
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Francisco Valenzuela Diaz
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Eng. Danilo Justino Carastan
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Dedicado a meus pais
e familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Hélio Wiebeck, meu orientador pela paciência, conhecimentos e argumentações teóricas que contribuíram para a realização desse trabalho.

Agradeço ao Sr. Wilson Yamasaki, da Berkeley Indústria e Comércio Ltda., que permitiu minha experiência industrial durante o ano de 2006 bem como os conhecimentos adquiridos por meio do diálogo e exemplificações práticas.

Agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, pelo estímulo e orientações competentes.

Agradeço a Deus pela vida e oportunidade de concretizar meu sonho: Ser um Engenheiro Politécnico.

"A morte do homem começa no
instante em que ele desiste de aprender."

Albino Teixeira

RESUMO

SILVA, A.C. Espumas flexíveis de poliuretano: Produção e Conforto. 2006,
Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

As espumas flexíveis de poliuretano possuem características que as tornam uma das melhores opções de uso para o conforto humano. Estas espumas podem ser produzidas em uma grande faixa de propriedades incluindo maciez, firmeza e resiliência, além de serem reversíveis à deformação. O grau de conforto é subjetivo, mas através da abertura das células da espumas é possível obter características importantes para o bem estar pessoal possibilitando diferenciar a espuma de um travesseiro de uma espuma para colchão. Um dos fatores importantes para mensurar o conforto é a densidade, que é uma variável nas espumas, visto que podem depender da reação química da mistura e método de fabricação. Neste estudo apresenta-se um paralelo entre os meios de fabricação e produto final, por meio do relato de um caso na empresa Berkeley Indústria e Comércio Ltda.

Palavras Chave: Espuma flexível. Poliuretano. Conforto. Produção.

ABSTRACT

SILVA, A.C. **Flexible polyurethane foam: Production and comfort.** 2006,
Graduation Final Work – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São
Paulo, 2006.

The flexible polyurethane foam has some characteristics that become them one of the best options for the human comfort. This foam can be produced in a great band of properties including softness, firmness and resilience, besides being reversible to deformation. The comfort degree is subjective, but through the opening of the foam cells is possible to get some important characteristics for personal welfare making possible distinguish a pillow foam than a mattress one. One of the important factors to measure the comfort is density, which foam variable that depends from the chemical reaction of the mixture and fabrication method. This work presents a parallel between the fabrication process and the final product, from a case study at Berkeley Industry.

Keywords: Flexible foam. Polyurethane. Comfort. Production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Consumo mundial de PU por segmento ¹	p.12
Figura 2 – Consumo de PU por segmento na América Latina ¹	p.13
Figura 3 – Processo Contínuo Convencional ²	p. 14
Figura 4 – Processo Maxfoam ²	p.15
Figura 5 – Processo contínuo vertical ²	p.15
Figura 6 – Processo descontínuo convencional (caixote) ²	p.16
Figura 7 – Processo de Fabricação em moldes ²	p.17
Figura 8 – Células de uma espuma flexível de PU ³	p.18

SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRACT	08
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	09
SUMÁRIO	10
1.INTRODUÇÃO	11
2.FABRICAÇÃO DAS ESPUMAS FLEXÍVEIS DE POLIURETANO.....	14
3.OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. METODOLOGIA DO TRABALHO.....	20
5. ESTUDO DO CASO.....	21
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS	27

1.INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda a história do poliuretano por meio de uma análise histórica, econômica e de qualidade de vida. O objetivo deste estudo é estabelecer um paralelo entre as propriedades finais tais como conforto, suporte e densidade das espumas flexíveis de poliuretano com sua fabricação.

Os poliuretanos (PU's) foram desenvolvidos em 1937, pelo Prof. Dr. Otto Bayer² e se tornaram um sucesso e marco da tecnologia, que movimenta ainda hoje bilhões de dólares no mercado mundial sendo, em 2005, quase 10 milhões de toneladas com um crescimento de 4% em relação ao ano anterior¹.

No Brasil, em 1971, a DOW Plastics, uma multinacional do setor químico, inaugurou sua planta de PU na cidade de Guarujá, no estado de São Paulo². Líder mundial na fabricação de polióis poliéteres e também na produção de isocianatos aromáticos, com essas matérias primas, iniciou o aquecimento no mercado de PU no Brasil, tanto em sua forma rígida quanto na forma de espumas.

A produção do poliuretano se dá através da reação de poliadição de um isocianato com um poliál⁴. Os isocianatos podem ser aromáticos ou alifáticos. Os polióis podem ser poliéteres, poliésteres ou possuir estrutura hidrocarbônica. A grande vantagem oferecida pelos PU's é sua versatilidade, devido à facilidade de produção e suas propriedades, que podem variar desde uma espuma flexível e de baixa densidade, até uma espuma rígida, com poucas bolhas de gás e muito resistente.

O mercado mundial de PU's está sempre aquecido devido à grande variedade e utilidade dos produtos, tais como as espumas flexíveis. Os maiores centros consumidores são América do Norte, Europa e Ásia, esta responsável pelo aumento do consumo nos últimos anos⁵. A seguir, a figura 1, mostra as parcelas de cada segmento dos PU's no mercado mundial.

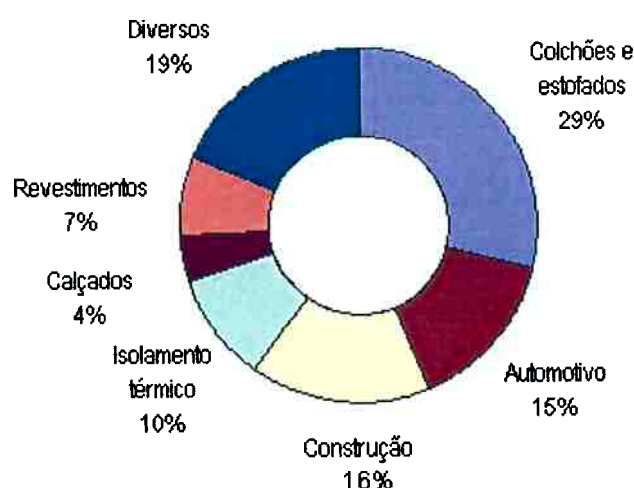


Figura 1 – Consumo mundial de PU por segmento

Como visto na figura 1, o segmento de conforto em espumas são os colchões, travesseiros e estofados, entendendo conforto como bem estar pessoal. Este segmento engloba grande parte do consumo e a espuma flexível faz parte do cotidiano de todos, desde o setor automotivo (bancos e assentos) até no uso doméstico (colchões, estofados e travesseiros).

Na América Latina a proporção do consumo de espuma é ainda maior. Como observamos na figura 2, cerca de 57% deste consumo Latino Americano de PU é englobado por espumas flexíveis⁵.

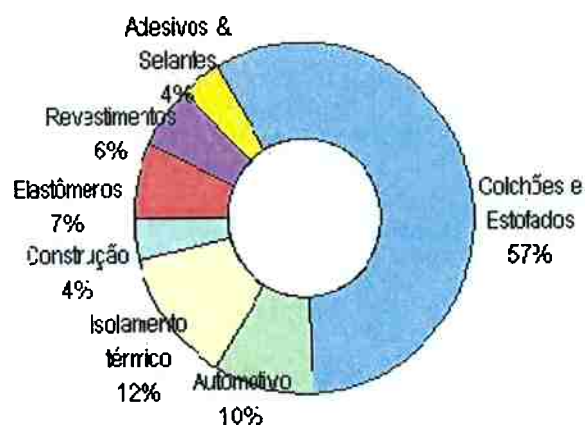


Figura 2 – Consumo de PU por segmento na América Latina.

Atualmente, o mercado brasileiro de PU consome cerca de 300.000 toneladas anuais, sendo que metade é produzida na forma de espumas flexíveis, formadas por células abertas, permeáveis e reversíveis à deformação. As primeiras espumas flexíveis foram produzidas em 1951 e nas décadas seguintes não pararam de evoluir⁶, seja mudando o tipo do Poliols (poliéster para poliéter) ou mudando as técnicas de fabricação, das quais originaram as espumas de alta resiliência e as semi-rígidas.

2.FABRICAÇÃO DAS ESPUMAS FLEXÍVEIS

Os meios de fabricação das espumas flexíveis são essencialmente em bloco (contínuo ou descontínuo) ou moldadas. Dentre os contínuos estão os seguintes processos: Convencional, Maxfoam e Vertifoam².

O processo em bloco de fabricação convencional (figura 3) envolve uma esteira com o dosador da mistura no início do processo, assim que a mistura é adicionada na ponta da esteira, a reação vai se encaminhando por 4 a 6 minutos, até a massa final estar curada. Este processo é o mais antigo dos contínuos e há uma perda de cerca de 20% no corte, pois a espuma cresce de forma abaulada devido aos efeitos de arraste nas abas laterais da esteira⁷.

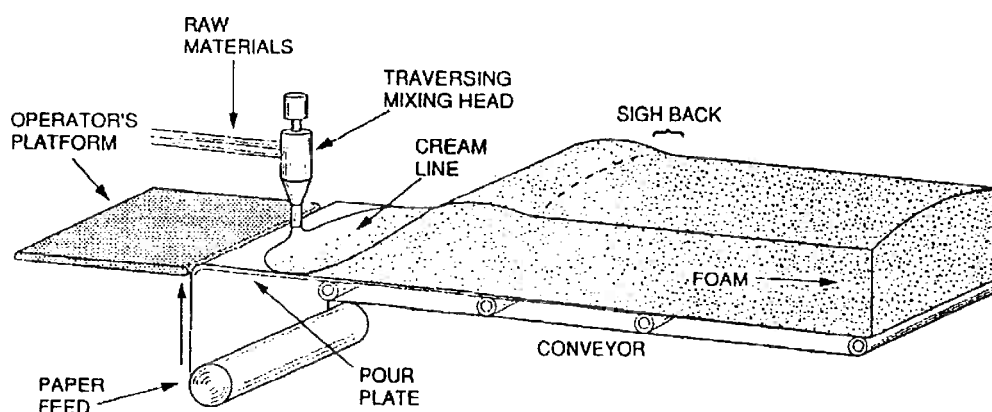


Figura 3 – Processo Contínuo Convencional.

O processo Maxfoam (figura 4) é o mais econômico, porém no Brasil ainda não é popular. A cabeça misturadora fica fixa e a massa é alimentada em uma câmara na qual se inicia a reação. Com a reação em andamento, a espuma transborda para um leito inclinado e se expande para baixo. Os efeitos de arraste são minimizados devido à ação da gravidade obtendo perdas menores do que no processo convencional⁷.

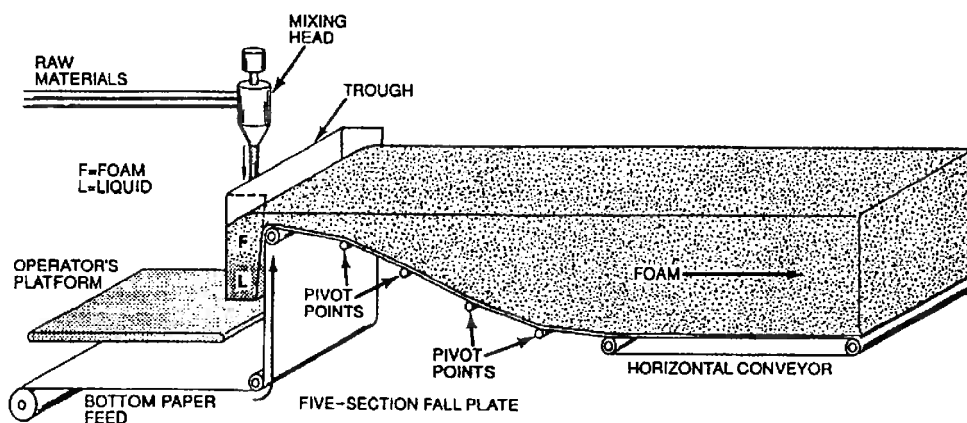


Figura 4 – Processo Maxfoam.

Há também o processo contínuo vertical, vertifoam (figura 5), no qual a mistura é injetada no fundo de uma câmara de expansão com paredes revestidas de papel ou polietileno⁷. As folhas se movem para cima com velocidade controlada proporcional à pressão da câmara. Quando os blocos chegam ao topo, são cortados e retirados do processo. As vantagens deste método são entre elas, reprodutibilidade, espuma de alta qualidade, formato fiel, além de excelentes propriedades físicas.

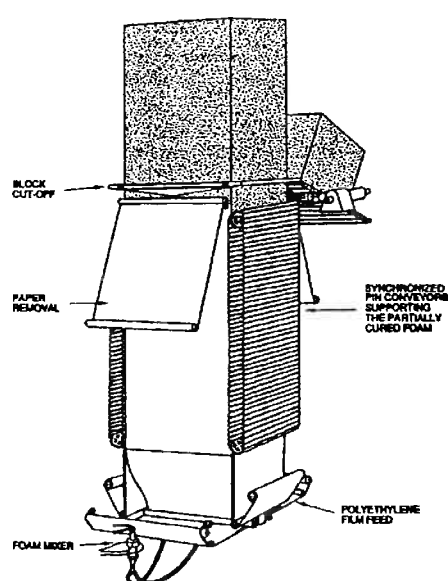


Figura 5 – Processo contínuo vertical.

Outro processo de fabricação é o descontínuo convencional, o conhecido como “caixote” (figura 6) sendo o mais utilizado no Brasil. Este processo permite fazer grandes blocos individuais de espuma. A mistura é feita em agitadores à parte e jogada em caixotes geralmente de madeira com superfícies planas e tampa móvel. Uma das maiores vantagens é a alteração da densidade e do tipo da espuma a cada mistura.

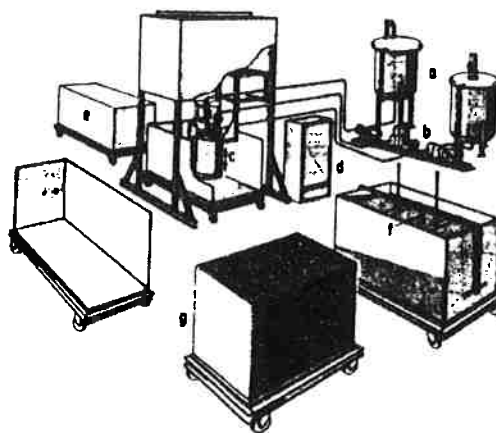


Figura 6 – Processo descontínuo convencional (caixote)

Um processo descontínuo, barato e com pouco investimento de capital, que vem crescendo no mercado, é a fabricação em moldes (figura 7). Para a produção de travesseiros, assentos de automóveis entre outros⁸. Para facilitar a retirada da peça de dentro do molde, aplica-se uma cera desmoldante em toda sua superfície. Neste processo, a massa é misturada e colocada em um molde, de metal ou madeira. Antes da reação começar, o molde é fechado e só é aberto depois da cura da espuma. Então, a espuma é retirada do molde estará pronta para o uso. Este processo é muito utilizado na indústria automobilística devido à sua reprodutibilidade (peças idênticas).

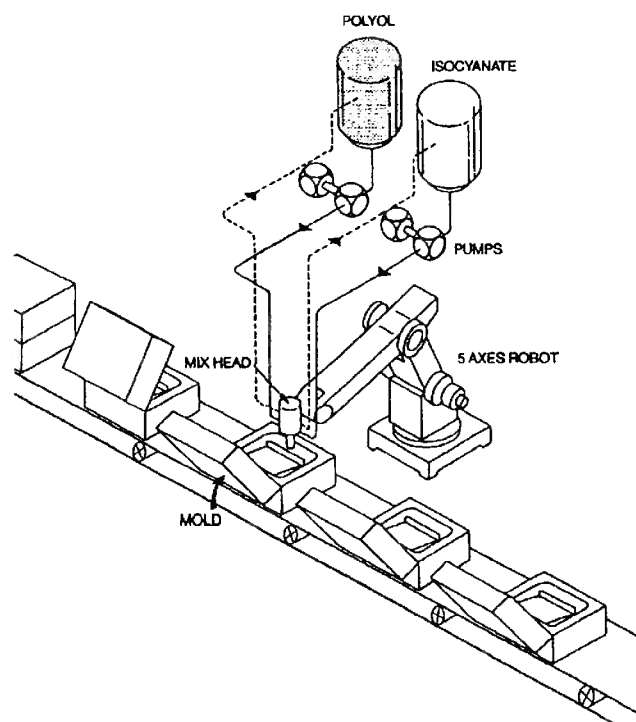


Figura 7 – Processo de Fabricação em moldes.

A área de conforto em espumas flexíveis está cada vez mais exigente e inovadora, o que estimula um processo de fabricação e controle de qualidade mais rigoroso, para suprir as necessidades dos consumidores.

Sabe-se que o nível de conforto da espuma está diretamente relacionado com a dureza do material, densidade e velocidade de retorno da espuma. Essas propriedades são ajustáveis conforme a composição da matéria prima (poliol e isocianato) e agitação da mistura. Com estes cuidados, controla-se a quantidade de bolhas e a abertura das células da espuma, oferecendo maior ou menor grau de conforto.

As espumas flexíveis de PU podem variar muito quanto aos níveis de dureza, suporte e densidade, fatores esses influenciados pela abertura das células. O

suporte pode ser afetado pela matéria prima, agitação da massa ou pressão interna no molde durante a cura⁹.

A estrutura celular de uma espuma de PU é um parâmetro de difícil definição e medida, pois as células não são homogêneas e variam conforme a espumação, alongando-se na direção em que a espuma se formou. Por esse motivo, as medidas de abertura de células podem ser falsas e outras medidas como dureza podem não estar bem definidas pois a espuma se torna anisotrópica (condição de variabilidade de propriedades físicas de um corpo segundo direções diferentes)⁹.

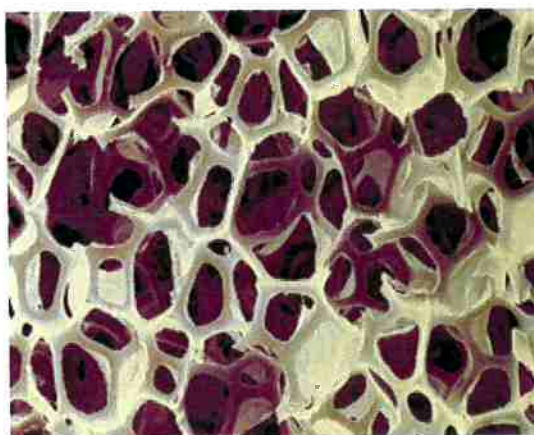


Figura 8 – Células de uma espuma flexível de PU.

O tamanho das células pode variar e interferir nas propriedades finais da espuma. Quando as células são pequenas e heterogêneas a espuma se torna mais macia do que outra com células em tamanho uniforme, além de apresentar uma curva de Tensão X Deformação mais linear. Se durante a mistura a agitação for muito acelerada, ocorrerá o alongamento das células aumentando a probabilidade

de coalescência o que prejudica o crescimento da espuma, deixando-a com rachaduras, rasgos ou mais rígidas.

3.OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Estabelecer um paralelo entre as variáveis da produção das espumas flexíveis de PU e seu nível de conforto.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudo das espumas flexíveis de PU quanto aos aspectos econômicos, de produção e conforto.

Instituir um roteiro de produção com um maior controle das variáveis.

4. METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia utilizada iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica, no sentido de levantar dados como o histórico do produto, processos de fabricação, cenário mundial e nacional de produção de PU, possíveis variáveis na fabricação e controle de qualidade nos produtos finais.

Análise dos dados levantados, permitindo a compreensão das necessidades do mercado e da produção.

Estudo e controle das variáveis de produção.

Relato de um estudo de caso.

5. ESTUDO DE CASO: BERKELEY INDUSTRIA E COMÉRCIO Ltda.

Durante o ano de 2006 surgiu a oportunidade de realizarmos uma parceria com a empresa Berkeley Indústria e Comércio Ltda. que produz travesseiros de espuma de PU com propriedades visco-elásticas, sediada no município de São Paulo, na qual o contato com a linha de produção, permitiu o monitoramento e controle das seguintes variáveis:

- ✓ Proporção dos reagentes;
- ✓ Tempo de mistura;
- ✓ Velocidade do agitador;
- ✓ Espalhamento no molde;
- ✓ Tempo de cura;

Essa parceria teve início com a necessidade de se obter um produto de qualidade superior, mais durável, confortável e principalmente com uma padronização nas características finais.

Na fabricação de travesseiros de PU os fatores de abertura de células, suporte e conforto são essenciais para a qualidade no produto final. As espumas apresentam uma variação na estrutura que podem ser ocasionadas também por fatores externos à produção, como temperatura e umidade do ar. Durante a mistura dos componentes, em vaso aberto, o isocianato poderá reagir com a umidade do ar, deixando o material mais rígido. Tais fatores poderão ser controlados para obter maior reprodutibilidade nos produtos finais.

As espumas visco-elásticas têm menor resiliência e recuperação mais lenta comparando com as espumas tradicionais. Tais efeitos auxiliam no conforto, suporte

do corpo e redução dos pontos de tensões. O toque proporcionado por esse tipo de espuma é muito mais suave e sua superfície é mais lisa que a das espumas convencionais¹⁰.

O processo de fabricação dos travesseiros é a produção descontínua em moldes. A mistura dos reagentes é feita em um vaso externo e assim que a reação começa o material é depositado em um molde no formato desejado, que é fechado e somente reaberto depois do tempo de cura.

Tomando como amostra o estoque da empresa, percebeu-se que os produtos não tinham uma regularidade em suas propriedades. Então foram feitos estudos e testes para garantir que os produtos finais ficassem sempre dentro de uma faixa de propriedades pré-definidas.

Como as variáveis citadas eram essenciais para a qualidade do produto final, havia a necessidade de manter o controle a fim de garantir a homogeneidade das espumas.

Este é o foco do projeto buscando melhorias e adaptações.

O controle da qualidade deve ser iniciado na matéria prima, que dependendo do lote poderá influenciar no produto, então, a cada novo lote fabricava-se duas amostras para calcular a densidade e verificar o nível de suporte e conforto do produto final. Com as amostras piloto aprovadas, a produção segue seu ritmo e os outros produtos fabricados estarão dentro da faixa de aprovação.

As adaptações na linha de produção da empresa Berkeley Indústria e Comércio Ltda. foram realizadas nos meses de março e abril de 2006 e os resultados se comprovaram nos meses de maio a agosto.

Conhecendo a necessidade dos clientes e tendo em vista um produto superior ao da concorrência, o controle de qualidade se tornava fator primordial para a produção das espumas. Portanto, além das alterações realizadas na planta, houve a implementação de métodos que selecionavam os travesseiros de acordo com seu suporte e conforme a necessidade do cliente.

A primeira adaptação realizada foi a semi-automatização dos dosadores a fim de garantir que as quantidades de polioli e isocianato sempre fossem as mesmas. Com os reagentes devidamente dosados não houve mais problemas de travesseiros duros devido ao excesso de material, pois os moldes eram fabricados para um volume controlado e calculado.

Para o nível de conforto desejado, a mistura deveria ser feita de modo a não permitir a coalescência das bolhas e posteriormente o endurecimento da espuma. Fazendo testes pilotos, chegou-se a um tempo de mistura ideal, com uma variação de até 5 segundos, para que a espuma final tivesse a quantidade de células e a densidade final necessárias para atingir os padrões desejados. Caso o tempo fosse maior, a reação começaria dentro do misturador e não dentro do molde, o que acarretaria na perda de material e conseqüente diminuição na densidade.

A velocidade de agitação influencia na quantidade de bolhas formadas e no tamanho das células. Segundo a literatura², a rotação do agitador poderia variar entre 2000 e 6000 rotações por minuto (rpm). Se a velocidade fosse muito alta, o

produto final apresentaria poucas células pois coalesciam. Então, o travesseiro ficava mais denso e com uma dureza maior. A velocidade foi fixada verificando a qualidade das amostras e chegou-se a um valor que condizia com o previsto: 5500 rpm .

Em processos de fabricação a abertura das células é uma variável que depende de vários fatores e estes foram fixados, a qualidade final do produto estava sendo padronizada. Porém uma variável estava dificultando a padronização: o espalhamento da massa sobre o molde, que era feito pelos operadores e a cada turno poderia haver diferenças que variariam a cura do produto no molde e por consequência o nível de conforto no produto final. Com o intuito de padronizar o espalhamento, foi feito um gabarito para que em todos os lotes o preenchimento do molde fosse sempre realizado da mesma maneira que garantiria o crescimento regular da espuma e, portanto, propriedades físicas dentro da mesma faixa em qualquer parte do travesseiro. Não haveria mais problemas de diferenças de dureza e suporte no mesmo travesseiro.

A fabricação feita em molde fechado garante que a espuma será curada enquanto estiver dentro do molde⁶, então, para a cura ideal o produto não ser retirado antes do tempo de cura total; os testes piloto comprovaram os tempos de cura mínimo e máximo. Como em uma fábrica há a necessidade de volume de produção, estabeleceu-se o tempo mínimo de cura em que as propriedades não fossem alteradas, portanto mais uma variável foi fixada.

Após a fabricação, os travesseiros passavam por um teste de suporte, desenvolvido para não permitir que houvesse diferenças significativas no mesmo lote ou em produtos para o mesmo cliente. Sabendo que o nível de conforto

relaciona-se ao suporte e densidade do travesseiro, utilizamos um peso de 1 kg com linhas eqüidistantes numeradas de 1 a 6. Ao colocar o peso sobre o travesseiro, o mesmo afundava alguns níveis. Caso o peso se estabilizasse entre os níveis pré-definidos para a aprovação, o travesseiro estaria dentro da faixa exigida pela demanda dos clientes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante os meses de implementação e adaptação do projeto, as variáveis que influenciavam diretamente nas propriedades da espuma final foram fixadas.

A faixa de densidade da espuma ficou entre $16,5 \text{ kg/m}^3$ e $17,0 \text{ kg/m}^3$. A cada lote fabricado havia a clara percepção que as propriedades finais não eram mais variáveis e os níveis de conforto e suporte que dependiam de propriedades como tamanho e quantidade de células, sempre estavam dentro dos padrões pré-definidos pela empresa e pela demanda de seus clientes. Confirmando o paralelo previsto neste estudo.

Com as melhorias efetuadas no processo produtivo de espumas flexíveis de PU, constatou-se a evitando o desperdício e diminuindo assim, refugos e devoluções.

A relevância deste trabalho é a contribuição na implementação de um processo produtivo incorporando novos critérios de análise e controle de qualidade, fazendo com que esse novo método fosse aproveitado no cotidiano da empresa.

REFERÊNCIAS

- [1] Química e Tecnologia dos Poliuretanos. Disponível em: <http://www.poliuretanos.com.br/Cap1/11mercado.htm>. Acesso em 9º. de outubro de 2006.
- [2] Herrington R. & Hock K. – Dow Polyurethanes Flexible Foams, Dow Chemical, 1991.
- [3] Polyurethane Foam Association. Disponível em: <http://www.pfa.org/slideshows/fpf/pfat3.jpg>. Acesso em 16 de outubro de 2006.
- [4] Oertel G.: Polyurethane Handbook, Chemistry – Raw Material – Processing – Application – Properties, Hanser Publishers, N.Y., 1985.
- [5] Frisch D. C. – Historical Developments of Polyurethanes, in 60 Years of Polyurethanes International Symposium, Detroit, 1998.
- [6] Chinn H. – Polyurethane Foams, 1998 by the Chemical Economics Handbook – SRI International, 1998.
- [7] Buist, J. M. "Polyurethane Foams, Basic Equipment for Producing Flexible and Rigid Foams" Proceedings of the International Rubber Conference, Washington, D. C. November, 1959; American Chemical Society, 1959; 9-20.
- [8] Healy, T. T. "Applications of Polyurethane Foam In The Motor Industry"; In *Polyurethane Foams*, Healy, T. T., Ed.; Illiff Books; London, 1963, 75-92.
- [9] Woods G.: Polyurethane Book, Polyurethanes and John Willey & Sons, 1987.
- [10] Prolingheuer E.C. – Chemistry & Physics of Elastomeric Polyurethanes, Utech 94, Processing Workshop 2, Rapra, 1994.