ISSN: 2236-0603
PUC Minas Barreiro
Percurso Acadêmico
Revista interdisciplinar da PUC Minas no Barreiro
Artigo Discente
Licença Creative Commons Attribution 4.0 International license

Desenvolvimento de peças moldadas em polímeros para produtos da indústria de balas de goma

Development of polymer spare parts for gumdrops industry products

Everaldo Fernandes de Oliveira[1]
Charles Leonardo Israel[2]

Resumo

Esta investigação foi motivada pelas dificuldades de se conseguir peças de reposição dos formatos de produtos que eram fabricados em alumínio e gesso, por fornecedores nacionais e internacionais, para uma indústria de balas de goma, e também devido a problemas como prazo de entrega, custo alto e falhas de fabricação. Devido às dificuldades relatadas foram realizadas pesquisas para inserir materiais não convencionais para o setor e internalizar o processo de fabricação das peças dos formatos. Para atingir o objetivo foi inserida a usinagem em fresadora CNC para a confecção de matrizes dos formatos das peças e também foi aplicado o processo de moldagem por vazamento com pressão positiva e realizado posterior análise da melhor temperatura de cura. Como resultado obteve-se peças de reposição dos formatos fabricadas com bi-componentes de poliuretano. Como conclusão verificou-se que a temperatura ambiente influencia no tempo de cura e na dureza das peças fabricadas. Também verificou-se uma redução no custo das peças fabricadas em poliuretano comparando com peças adquiridas em alumínio e gesso além da garantia de confidencialidade no desenvolvimento de novas peças de formatos.
Palavras-chave: Peças moldadas em polímeros. Matriz de silicone. Matriz de poliuretano. Processo de moldagem por vazamento.

Abstract

This research was motivated by the difficulties faced while obtaining replacement parts in the product formats that were manufactured in aluminum and plaster by national and international supplier in a gumdrops industry, and due to the problems such as delivery time, high cost and failures in manufacturing. Due to the difficulties reported, research was carried out to insert non-conventional materials for the sector and to internalize the manufacturing process of pieces of all formats. In order to reach the objective, a CNC milling machine was inserted for the preparation of molds for the shapes needed and casting process was applied with positive pressure and the analysis of the best cure temperature was carried out. As a result we obtained spare parts of the formats manufactured with bi-component polyurethane. As a conclusion, it was verified that the environmental temperature influences the curing time and the hardness of the manufactured parts. There was also a reduction in the costs of polyurethane parts compared to parts purchased in aluminum and, as well as a guarantee of confidentiality in the development of new formats of parts.
Keywords: Molded parts of polymers. Silicone die. Polyurethane die. Casting process.

Artigo recebido em 14 de Abril de 2017 e aprovado em 30 de Agosto de 2017.
[1] Engenheiro Mecânico, mestrando em Projeto e Processo de Fabricação pela Universidade de Passo Fundo. E-mail: everaldo.fernandes@outlook.com.br.
[2] Professor da faculdade Engenharia e Arquitetura, coordenador do Parque Científico e Tecnológico Universidade de Passo Fundo. E-mail: israel@upf.br.

Introdução

Segundo Resolução RDC nº 265, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2005), bala de goma é o produto preparado à base de gomas naturais, açúcares e adicionado de óleos essenciais ou extratos vegetais; ou ainda, como um produto preparado à base de goma de milho, açúcares e adicionada de aromatizantes. Na indústria de balas de goma, a necessidade de inovação é constante, e lançamento de novos formatos é premissa para a empresa se consolidar no mercado. As peças de moldes geralmente são produzidas em alumínio ou gesso, sendo, na maioria dos casos, necessária a importação, gerando altos custos e demora no projeto de desenvolvimento do produto. Outro problema que merece atenção é a falta de confidencialidade já que as peças são adquiridas de terceiros. Por tudo isso se verifica uma oportunidade de incremento tecnológico com a inclusão de materiais não convencionais neste setor, e novas tecnologias de processamento para minimizar estas dificuldades. Neste estudo foi inserido o processo de fresamento por Comando Numérico Computadorizado (CNC) para o desenvolvimento da matriz positiva em placa de poliuretano. No fresamento CNC, a fresadora, por interpretação de instruções expressas por meio digital, aciona um conjunto de servo-motores ou motores de passo, que comandam de forma independente cada eixo da máquina (X, Y e Z nas fresadoras de 3 eixos), deslocando a mesa ou a ferramenta de forma automática e interpolada. (FALLER; SILVA; KINDLEIN, 2006). O fato da fresa poder se apresentar sob as mais variadas formas, confere a esta operação um caráter de versatilidade em termos de geometrias possíveis de serem geradas. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013). Na inclusão de novos materiais será utilizado o silicone para fabricar a matriz negativa, já que o silicone é um elastômero sintético com propriedades químicas, mecânicas e resistência à ampla gama de temperatura e adequadas à indústria de alimentos. (GARBIM, 2011). Para a fabricação das peças dos moldes será utilizado outro material que é o poliuretano e que pertence a um grupo de materiais que aliam características de elastômeros com a possibilidade de transformação, devido à grande variação de durezas possíveis de se estabelecerem na sua formulação. (ALBUQUERQUE, 1999). Tanto para produzir a matriz negativa de silicone como as peças de poliuretano será utilizado o processo denominado vazamento. O vazamento é o processo de moldagem descontínuo mais simples, aplicável tanto para polímero termoplástico quanto para termofixos e consiste em verter, isto é, vazar no molde a composição moldável do polímero. (MANO; MENDES, 1999). Após a produção das peças de poliuretano será realizada a avaliação das mesmas. Esta avaliação consiste em verificar a temperatura de cura

de produção, análise estatística da dureza Shore "A" das peças, análise de superfície no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), ensaio de migração específica de isocianatos e comparativo de custos entre os materiais.

1 Material e métodos

1.1 Matriz Positiva de Poliuretano

Para a confecção da matriz positiva foi utilizada uma placa de usinagem em poliuretano RenShape® 5169 da marca HUNTSMAN. Para a confecção da matriz positiva na placa de poliuretano, o formato escolhido foi o do tênis, conforme Figura 1, por necessidade de lançamento de um novo produto. Para preparar a placa de poliuretano, a mesma foi cortada com 135 mm de lado e 50 mm de espessura que foi torneada em torno universal para ficar no diâmetro de 130 mm. Depois de realizadas estas operações, a placa de poliuretano foi usinada em uma fresadora CNC Sigma 600. Para resfriar as fresas utilizadas, foi necessário apenas sopro de ar comprimido.

Figura 1 - Matriz positiva confeccionada a partir placa de poliuretano

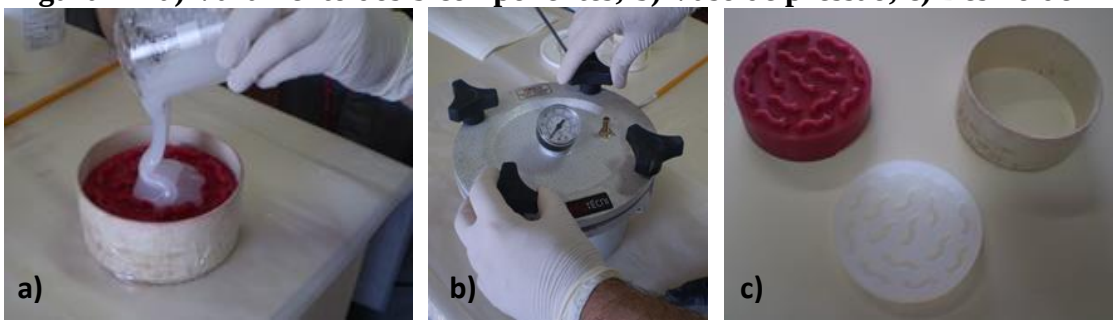
Fonte: Elaborado pelo autor

1.2 Matriz Negativa de Silicone

Para a fabricação da matriz negativa, foi utilizado bicomponentes de silicone e catalizador Ren® RP 4644 SI da marca HUNTSMAN. Nesta etapa, inicialmente, foi necessário aplicar desmoldante de vaselina líquida em toda a superfície da matriz positiva de poliuretano para facilitar a desmoldagem após a cura. Foi realizado pesagem do silicone e do catalizador na proporção da mistura 100 de resina de silicone para 10 de catalizador por peso, os componentes foram pesados de forma precisa com tolerância de ± 5% em balança analítica, o tempo de mistura ficou entre 4 a 6 minutos; após o tempo de mistura foi realizado o

vazamento como segue na Figura 2a. Concluído o vazamento dos componentes de silicone e catalizador, foi inserido a matriz positiva no vaso de pressão e pressurizado entre 30 e 35 PSI Figura 2b. O vaso de pressão ficou em um ambiente com temperatura de $40^{\pm 2}$ ºC. Após o tempo de cura de 12 horas ± 15 minutos foi realizado a retirada da matriz negativa de dentro do vaso de pressão e realizado o desmolde conforme Figura 2c. Após o desmolde foi realizado a medição da dureza que ficou em 42 Shore A.

Figura 2 – a) Vazamento dos bicomponentes; b) Vaso de pressão; c) Desmolde



Fonte: Elaborado pelo autor

1.3 Peças de Poliuretano

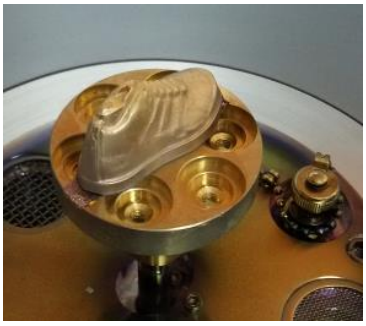
Para a fabricação das peças de poliuretano, foram utilizados os bicomponentes de poliuretano PUR 9095 A e PUR B 9095. Para a dosagem dos bicomponentes de poliuretano foi necessário realizar a dosagem 53 % do componente PUR 9095 A do volume total com tolerância de ± 0,2% e a dosagem 47 % do componente PUR 9095 B do volume total com tolerância de ± 0,2%. O tempo de mistura (manuseio) ficou entre 1 a 2 minutos, após este tempo a mistura começa a se solidificar. Depois de realizado a mistura foi iniciado o processo de vazamento do poliuretano, conforme Figura 3a. Concluído o vazamento da mistura dos componentes nas cavidades foi inserido a matriz negativa de silicone no vaso de pressão e pressurizado entre 30 e 35 PSI Figura 3b.

Figura 3 – a) Processo de vazamento do poliuretano; b) Matriz negativa no vaso de pressão

Fonte: Elaborado pelo autor

O tempo estipulado de cura foi 12 horas ± 15 minutos então foi realizada a retirada da matriz negativa de dentro do vaso de pressão, realizado o desmolde das peças de poliuretano e efetuado imediatamente a medição de dureza no durômetro digital 3805B Shore-A da marca Starrett. As peças foram produzidas em três faixas de temperaturas de cura, conforme segue: $2^{\pm 2}$ ºC, $20^{\pm 2}$ ºC, $40^{\pm 2}$ ºC. Para registrar as faixas de temperaturas durante o processo de cura foi instalado um registrador eletrônico de dados. Posteriormente a conclusão da quantidade total de peças foi realizada análise estatística com as durezas obtidas, utilizando a análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 5 %. Para realizar a análise de superfície das peças foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) marca Tescan, modelo Vega LM3 nas faixas de temperatura de cura definidas; como as peças não eram de metal houve a necessidade de aplicação de material condutivo (ouro), conforme Figura 4.

Figura 4 – Aplicação de material condutivo para análise de superfície no MEV



Fonte: Elaborado pelo autor

Como as peças produzidas em poliuretano estarão sempre em contato com o amido, e o amido estará em contato com a massa de balas de goma, foi definido que deveria ser realizado um ensaio de migração de isocianetos. Como não se tinha laboratório com condições de realizar o teste na empresa, as peças de poliuretano foram enviadas para laboratório do grupo Eurofins.

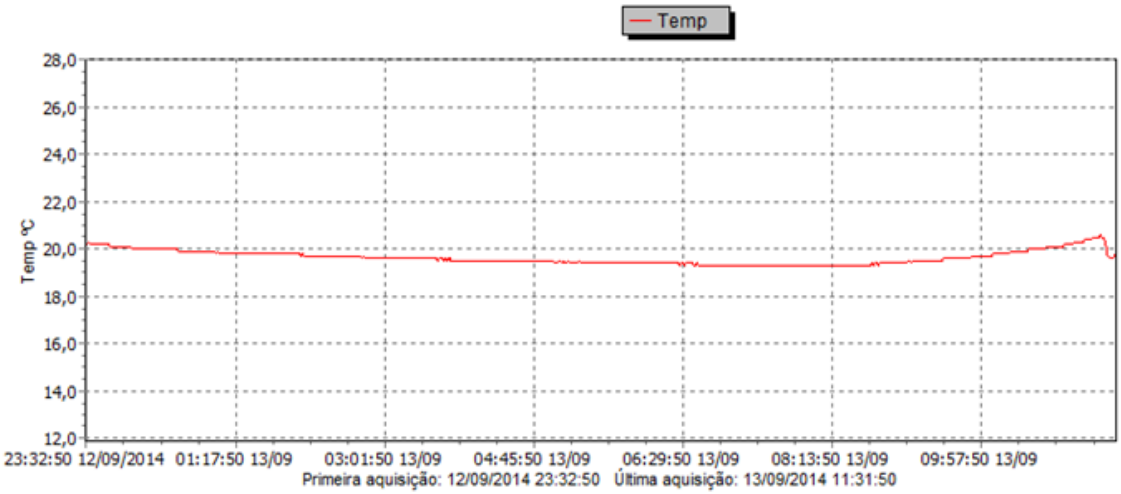
2 Resultados e discussões

Na placa de poliuretano, onde foi usinada a matriz positiva, conseguiu-se definir os parâmetros de usinagem e a partir destes fazer uma reprodução fiel do desenho da peça para então poder desenvolver a matriz negativa de silicone e depois as peças de poliuretano.

Para a confecção da matriz negativa de silicone, primeiro tentou-se realizar com auxílio de câmara de vácuo, mas a incidência de bolhas na matriz inviabilizou o processo. Portanto, para eliminar as bolhas na matriz de silicone foi mudado o processo de cura utilizando um vaso de pressão com pressão positiva. Outro item importante que conforme Caetano (2017), as peças quando curadas à temperatura ambiente sofrem uma variação de tempo de cura. Para eliminar esta variação, foi colocado o vaso de pressão com a matriz de silicone em uma estufa com a temperatura regulada para $20^{\pm 2}$ ºC durante o processo de cura. Após o período de cura, a dureza medida da matriz de silicone foi de 42 Shore "A", ficando dentro do valor mínimo de 41 Shore "A" estipulada pelo fornecedor do bicomponente.

No processo de cura das peças fabricadas em poliuretano a temperatura a $2^{\pm 2}$ ºC o resultado não foi satisfatório, pois após 12 horas ±15 minutos de cura realizada nesta temperatura, foi aberto o vaso de pressão e as peças não estavam curadas, o que impossibilitou a realização das medidas de durezas. Para as peças na faixa de temperatura de $20^{\pm 2}$ ºC e $40^{\pm 2}$ ºC, foi utilizada uma estufa e um registrador eletrônico de dados configurado para coletar os dados a cada 1 minuto, o tempo de cura foi de 12 horas ±15 minutos. Com a coleta dos dados, na faixa de temperatura de $20^{\pm 2}$ ºC no registrador eletrônico, a temperatura oscilou entre 19,3ºC e 20,6ºC, conforme Figura 5, ficando dentro da faixa estipulada de $20^{\pm 2}$ºC. As medições de durezas com o durômetro digital 3805B Shore-A da marca Starrett foram realizadas tão logo as peças foram desmoldadas. No teste de cura, após 12 horas ±15 minutos a $20^{\pm 2}$ ºC, foi obtida uma dureza mínima de 90 Shore "A" e uma dureza máxima de 96 Shore "A" nas peças produzidas, ficando dentro do valor mínimo definido de 90 Shore "A" pelo fornecedor do bicomponente de silicone.

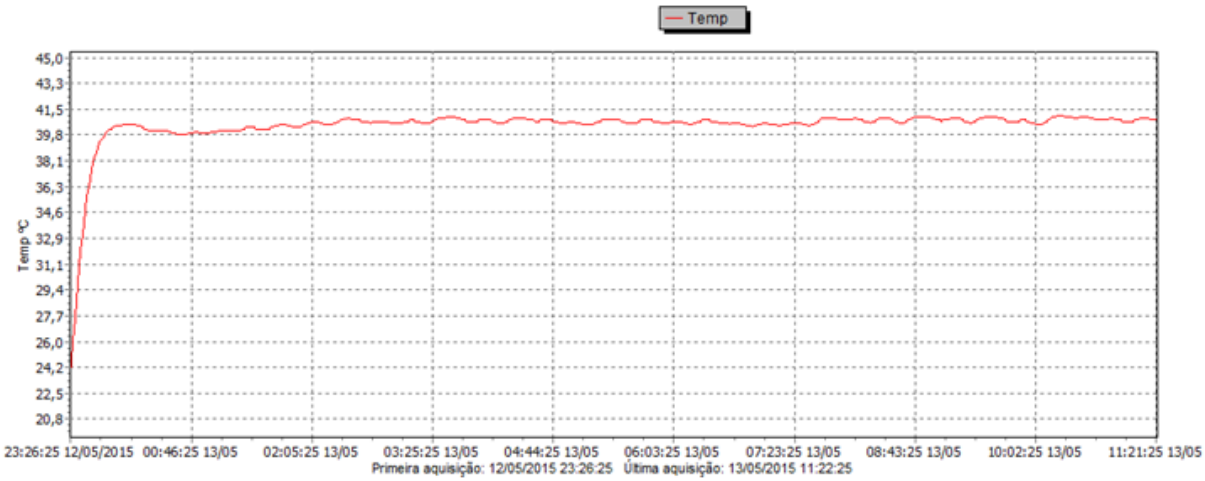
Figura 5 - Gráfico do registrador eletrônico para a temperatura de $20^{\pm 2}$ ºC



Fonte: Elaborado pelo autor

Na faixa de temperatura de $40^{\pm 2}$ ºC, a temperatura oscilou entre 39,8 ºC e 41,1 ºC, conforme Figura 6, ficando dentro da faixa estipulada de $40^{\pm 2}$ ºC. As medições de durezas com o durômetro digital foram realizadas tão logo as peças foram desmoldadas. No teste de cura após 12 horas a $40^{\pm 2}$ ºC, teve como resultado uma dureza mínima de 97 Shore "A" e uma dureza máxima de 99,5 Shore "A" das peças fabricadas, ficando dentro do valor mínimo definido de 90 Shore "A" pelo fornecedor do bicomponente de poliuretano.

Figura 6 - Gráfico do registrador eletrônico para a temperatura de $40^{\pm 2}$ ºC



Fonte: Elaborado pelo autor

Para comparar a variação devido aos tratamentos realizados, ou seja, a cura das peças após vazamento à temperatura de $20^{\pm 2}$ ºC e a temperatura de $40^{\pm 2}$ ºC, foi realizada uma análise estatística utilizando a análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5 %, na qual foram encontrados os resultados da Tabela 1. Nos resultados obtidos através da ANOVA, foi verificado que existe diferença entre os tratamentos realizados nas amostras, pois F calculado (5,1588) é maior que o F crítico (3,87223). Através da análise estatística, é possível verificar que a variância da amostra de peças curada a $20^{\pm 2}$ ºC é maior que a variância das peças curada a $40^{\pm 2}$ ºC.

Tabela 1 - Análise estatística das amostras

RESUMO

Grupo	*Contagem*	*Soma*	*Média*	*Variância*	*Desvio Padrão*
AMOSTRA $20^{\pm 2}$ °C	153	14190	92,7451	2,7241	1,6505
AMOSTRA $40^{\pm 2}$ °C	153	15072	98,5098	0,5180	0,7197

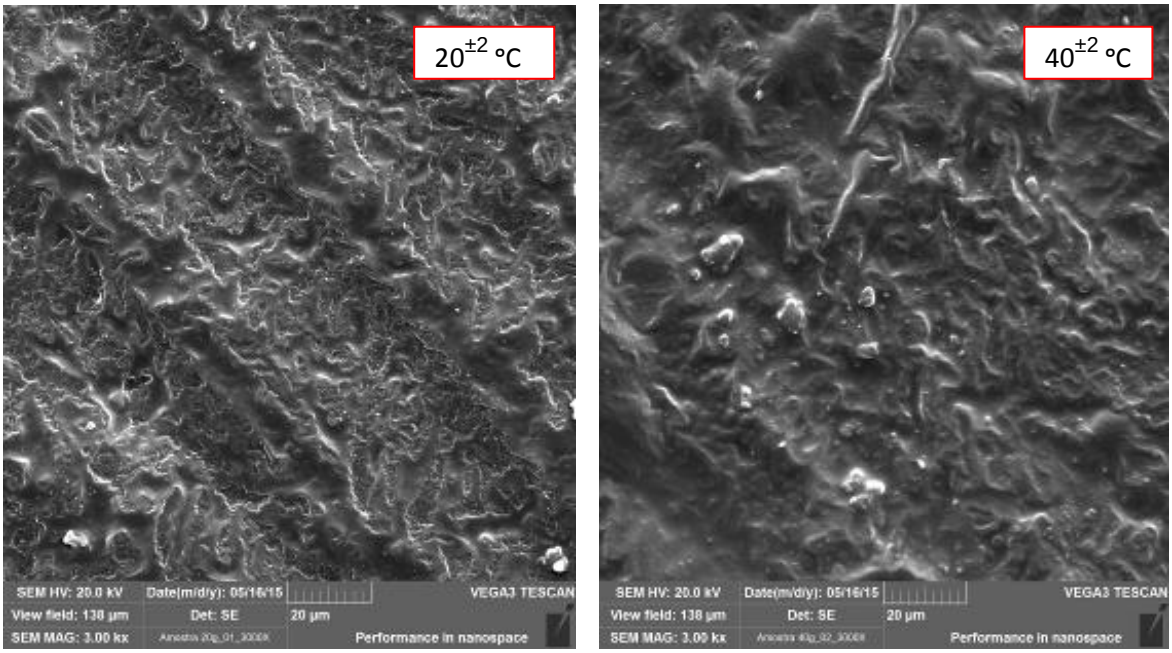
ANOVA

Fonte da variação	*GL*	*SQ*	*QM*	*F*	*F Crítico*
Entre grupos	1	2542,2353	2542,2353	5,1588	3,8722
Dentro dos grupos	304	492,7941	492,7941		
Total	305	3035,0294			

Fonte: Elaborado pelo autor

Realizando um comparativo entre as duas superfícies (Figura 7), foi verificado que além da amostra curada à temperatura de $40^{\pm 2}$ ºC ter uma dureza maior que da amostra curada à temperatura de $20^{\pm 2}$ ºC, foi observado através da análise de superfície realizada através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que a superfície da amostra de peças curadas a $40^{\pm 2}$ ºC ficam menos irregulares e os contornos são mais suaves.

Figura 7 - Peças de poliuretano curadas a $20^{\pm2}$ °C e a $40^{\pm2}$ °C



Fonte: Elaborado pelo autor

Como resultado das peças produzidas em poliuretano no molde tênis, que foram enviadas para o Laboratório do Grupo Eurofins (na unidade sediada na Holanda) referente ensaio de migração, declara que a soma de isocianatos ficou em 0,57 mg/kg. Este resultado atende a Resolução nº 123, de 19 de junho de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2001), que define o Limite de Composição (LC) em LC <1 mg/kg.

Para chegar ao custo unitário das peças de poliuretano, foi considerado a quantidade de horas utilizadas em usinagem da placa de poliuretano no torno universal e na fresadora CNC, a energia elétrica consumida, o tempo de manipulação e o valor de todos os materiais utilizados. Depois de realizadas todas as etapas do processo de fabricação, foi verificada uma redução de custos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo de custos de peças em alumínio, gesso e poliuretano

DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	TOTAL
Peças em réguas de alumínio	R$ 56,67	300	R$ 17.000,00
Peças em Gesso importadas	R$ 12,35	300	R$ 3.705,00
Peças em Poliuretano	R$ 2,62	300	R$ 786,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Conclusões

Esta pesquisa teve início devido a dificuldades de se conseguir as peças de reposição dos formatos de produtos que até então eram feitos em materiais como alumínio e gesso; e estas peças, por serem adquiridas dos fornecedores nacionais e internacionais de equipamentos, tinham prazo de entrega longo, custo alto, algumas falhas de fabricação e não se tinha confidencialidade de formatos. Por todos estes problemas citados buscaram-se novos materiais para a confecção de peças dos moldes para produção de balas de goma.

Na procura de novos materiais, conclui-se que a placa de poliuretano é um material bastante adequado para usinar e confeccionar a matriz positiva, pois ficou com um acabamento que reproduziu perfeitamente o modelo do produto desejado, não ficando com imperfeições em sua superfície.

Outro material importante que foi utilizado, e que ajudou no processo de fabricação de peças, foi o silicone. O silicone foi utilizado para confeccionar a matriz negativa. Neste processo foi desenvolvido um procedimento no qual se concluiu que para se produzir a matriz deve-se utilizar pressão positiva ao invés de vácuo, e manter uma temperatura ambiente controlada em $20^{\pm 2}$ ºC, sendo que o tempo de cura é de aproximadamente 12 horas ±15 minutos.

Na fabricação das peças dos moldes, o material desenvolvido foi o poliuretano. Assim como na matriz de silicone, foi concluído que as peças devem ser produzidas com pressão positiva, e que a faixa de temperatura ideal de cura é de $40^{\pm 2}$ ºC, tendo-se um tempo de cura de aproximadamente 12 horas ±15 minutos. Nesta faixa de temperatura, as superfícies das peças ficam menos irregulares, com os contornos mais suaves e com valores de dureza acima de 97 Shore “A”. Com essas características, as peças tendem a não aderir o amido durante o processo de produção de bala de goma, proporcionando resultado de produtos com formato fiel ao desenho do molde. Como as peças de poliuretano entram em contato com o produto, as peças foram enviadas para análise no Laboratório do Grupo Eurofins; após esta análise de migração de isocianatos, foi concluído que o resultado atende a legislação vigente da Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

Por fim, outra conclusão importante que justificou esta pesquisa foi a redução de custos. Se comparado os custos unitários entre as peças de poliuretano e as peças de gessos importadas, a redução de custos chega a 78,8 %, se comparada os custos unitários entre as peças de poliuretano e alumínio, a redução chega a 95,4 %.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A. **O plástico na prática**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1999.

AGENCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITÁRIA. Resolução nº 123, de 19 de junho de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre Embalagens e Equipamentos Elastoméricos em Contato com Alimentos, constante do anexo desta Resolução, com o prazo de 12 (doze) meses, a contar da data da publicação desta Resolução para as empresas se adequarem à mesma. Revoga Anexo III da Resolução nº 45, 1978. **Diário Oficial da União**; Poder Executivo, de 26 de junho de 2001.

AGENCIA NACIONAL DE VIGILANCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 265, de 22 de setembro de 2005. Aprova o "Regulamento Técnico para Balas, Bombons e Gomas de Mascar". Revoga itens referentes a Balas, Caramelos e Similares; e Bombons e Similares da Resolução nº 12 de 1978. **Diário Oficial da União**; Poder Executivo, de 23 de setembro de 2005.

CAETANO, M.J. Borrachas de silicone e de flúor silicone. **Ciência e Tecnologia da Borracha**, Disponivel em: <http://ctborracha.com/?page_id=4440>. Acesso em: 28 de Ago. 2017.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

FALLER, R.; SILVA, F.; KINDLEIN,W. **A utilização da Usinagem em altíssimas velocidades com quatro eixos no design de produto**, 2006. Trabalho apresentado no VII P&D Design, Curitiba, 2006.

GARBIM, V. J. **Borrachas - Tecnologia, caracteristicas, compostos e aplicações**. Rio de Janeiro: Publit Soluções Editoriais, 2011.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1999.