



PROJETO E MANUFATURA DE UM MOLDE PARA A FABRICAÇÃO DE GARRAFAS DO TIPO SQUEEZE

Guilherme Roos Ribeiro¹

Alexandre Milanez²

Gabriel Felisbino³

Clauber Roberto Marques⁴

Luiz Carlos de Cesaro Cavaler⁵

Resumo: A fabricação de moldes é uma tarefa complicada devido à complexidade das peças e a competição das empresas do ramo, fazendo com que não haja referencial teórico para fabricação de ferramentas de sopro. Visando trazer mais conhecimento desta área para dentro da instituição e equipar o LACOMP (Laboratório de Conformação Mecânica e Processamento de Polímeros) com um ferramental novo, esse trabalho terá como foco principal a manufatura de um molde para a máquina sopro com a finalidade de produzir garrafas do tipo squeeze. Assim ao final desse trabalho, será possível produzir garrafas plásticas em grande quantidade, com o nome da instituição gravada nelas e oferecendo um novo ferramental para demonstrações futuras em aulas ou visitas. A complexidade da fabricação e projeto será discutida neste trabalho.

Palavras-chave: Extrusão/Sopro. Projeto de ferramental. Garrafa squeeze. Usinagem de moldes.

1 INTRODUÇÃO

Os materiais plásticos, ou polímeros, estão presentes no nosso meio, desde o início do século 20. Ele é um material, que em relação a outros como o vidro, é novo e está com um crescimento alto no consumo nos últimos tempos. Pode-se notar que em quase todos os lugares há algo produzido a partir do plástico, mostrando como essa indústria está presente no mundo atual.

Na área de fabricação de moldes e matrizes em si, é muito caro e difícil de se obter conhecimento necessário para a manufatura de um molde, já que literatura que auxilia na otimização e na padronização dos moldes não é de fácil acesso. Isso

¹ Graduado em Engenharia Mecânica UniSATC. E-mail: doguiroos8@hotmail.com

² Prof. UniSATC. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

³ Graduado em Engenharia Mecânica UniSATC. E-mail: felisbinogabriel@hotmail.com

⁴ Prof. UniSATC. E-mail: clauber.marques@satc.edu.br

⁵ Prof. UniSATC. E-mail: luiz.cavaler@satc.edu.br



ocorre pela competição entre as empresas do ramo, já que elas também tiveram que se esforçar para encontrar estudos relacionados a esta área.

Como as indústrias estão cada vez mais adentrando no mercado de peças do setor automotivo, de lazer e alimentos, existe uma diversificação nos produtos plásticos fabricados. Dentro desse ramo existem algumas máquinas que processam os polímeros para que eles possam se transformar nas garrafas de água, em embalagens, brinquedos, potes, entre outros, que são utilizados no dia a dia de cada pessoa.

Logo é possível observar que as matrizes estão em constante aprimoramento para que cada vez mais elas se tornem tecnológicas o suficiente para fazer a diferença no meio. Isso gera uma constante competição entre as indústrias de moldes, que a partir dela corre a inovação para produzir produtos de melhor qualidade.

Tendo em vista que a SATC não possui estudos sobre moldes para a fabricação de garrafas plásticas na máquina de sopro e possui somente um molde, esse projeto tem o intuito de equipar o LACOMP com ferramental, para que possa servir de exemplo para os futuros alunos.

Com este molde, os alunos poderão visualizar e entender o processo de sopro por extrusão, possuindo um embasamento suficiente para projetos futuros e por fim poder disponibilizar este produto para todos, já que foi desenvolvido para poder suprir todas as necessidades.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse item serão abordados os tipos de processos de fabricação com polímeros, o fornecimento de um embasamento teórico mais acentuado no processo de sopro e a descrição de algumas características do molde de sopro a ser desenvolvido.

2.1 PROCESSAMENTO DE POLÍMEROS

A fabricação dos polímeros está vinculada a vários processos, no caso, diversas etapas, partindo da sua transformação química até o seu resultado. Segundo Gloacki e Feliciano (2010) desde a pré-história o homem já havia tido contato com os polímeros, apesar de que apenas no século XIX começou a sintetização deles. Além



disso os materiais poliméricos, como plásticos, borrachas e alguns adesivos, compõem uma das três grandes classes de materiais a serem aplicados na engenharia.

Para os processos de fabricação que utilizam os polímeros, há alguns tipos que utilizam diferentes maquinários, como: extrusão, injeção, calandragem, prensagem, sintetização e fundição. Dentre esses processos citados, o que será mais aprofundado é o de sopro, já que é com base nele que o molde será desenvolvido.

2.2 SOPRO

De acordo com Giles (2004) o processo do tipo sopro é muito utilizado na indústria para produzir peças grandes, irregulares e ocas em uma única operação. Há duas vertentes do sopro: moldagem por sopro via extrusão e moldagem por sopro via injeção, sendo que uma das diferenças entre eles é que na moldagem por sopro via extrusão, o tamanho do acumulador, do parison entre outras partes é maior. A outra é a forma em que o molde recebe o polímero, onde um é injetado dentro do molde e o outro é extrudado verticalmente.

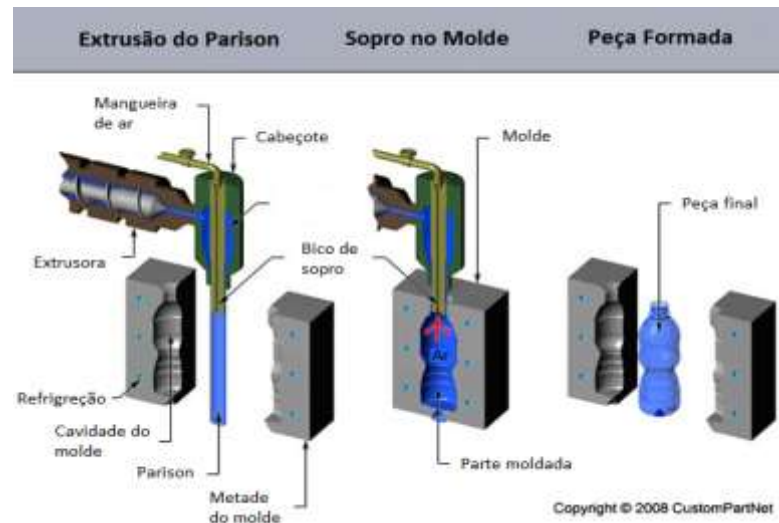
O processo a ser utilizado neste projeto é via extrusão, pois o molde será projetado de acordo com a máquina que está disponível. Logo o processo se divide em três principais partes:

1. Abastecimento de polímero para que haja a sua fusão;
2. Polímero fundido se formando em um tubo (parison);
3. Molde recebendo o parison e soprando para originar a peça final.

A extrusora possui resistências para que ocorra a fusão cristalina do polímero e a rosca para empurrar o material fundido que, depois passa pelo cabeçote, onde será definido a espessura do parison e extrudando para baixo. Assim que o comprimento do parison está de acordo com o tamanho pré-estabelecido, o molde prende o parison. Terminando o processo com o sopro de ar para que o parison se expanda na parede do molde e se torne a peça projetada.

A Fig. 1 detalha as etapas de moldagem de sopro de modo geral, tendo em vista que há inúmeros modelos de máquina de sopro, podendo haver algumas diferenças entre elas.

Figura 1: Etapas da moldagem no sopro via extrusão.



Fonte: ALVES, 2013

Na etapa de inflar com ar o parison que está dentro do molde, existem três categorias: sopro na parte superior, inferior e por agulha.

Sopro na parte superior é o processo em que o molde se desloca, levando o parison para o local onde haverá o sopro. Um bico de ar é inserido na parte superior (gargalo) com o intuito de inflar o parison, formando o produto. Ainda assim podendo necessitar de um acabamento (PELEGRINI, 2012).

O sopro na parte inferior acontece mais em peças compridas ou em sistemas de sopro com acumulador, já que nesse caso o parison desce e atinge o pino de sopro que está na parte inferior agora. Com isso o molde fecha, após o parison atingir o tamanho necessário, formando a seção do gargalo e solda em uma extremidade e na outra há o insuflamento para formar o produto (PELEGRINI, 2012).

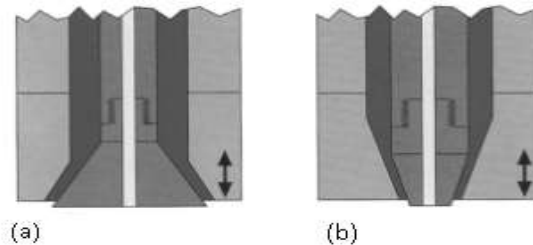
Já para o sopro por agulha, o procedimento é diferente, pois nesta forma não há bico de sopro e sim uma agulha que disponibiliza um fluxo de ar para produzir o produto (PELEGRINI, 2012).

2.2.1 Parison

Para produzir o produto, que normalmente é oco, é necessário que o polímero se modele em forma de tubo, nomeando-se parison. Essa etapa depende de um pino, onde a sua altura, dentro do conjunto de pino e bucha, determina a espessura

do parison. A Fig. 2 exibe dois modelos de pinos que podem ser produzidos para a formação do parison.

Figura 2: tipos de pino: (a) pino divergente e (b) pino convergente.



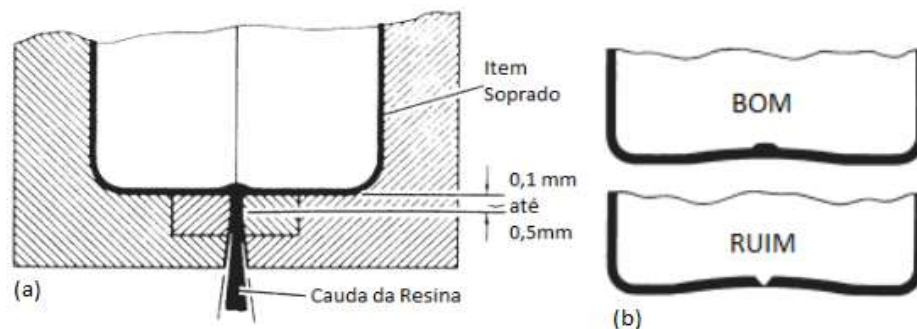
Fonte: KUTZ, 2016, p. 273.

O pino pode ser construído de duas formas: convergente ou divergente, dependendo da largura que o parison precisa ter para produzir a peça final. Com isso o operador da máquina necessita programar a espessura do parison de uma maneira eficaz, para que não haja desperdício de material e mantenha as dimensões do produto.

2.2.2 Pinch-Off

O pinch-off, ou linha de solda, é uma das partes, no desenvolvimento do molde, que é essencial ter o melhor design, já que é ele que sela a porção inferior do parison quando o molde fecha. A Fig. 3 apresenta como funciona o *pinch-off* e a diferença entre uma linha de solda boa e ruim.

Figura 3: excesso de material: (a) cauda e (b) exemplos de linha de solda.

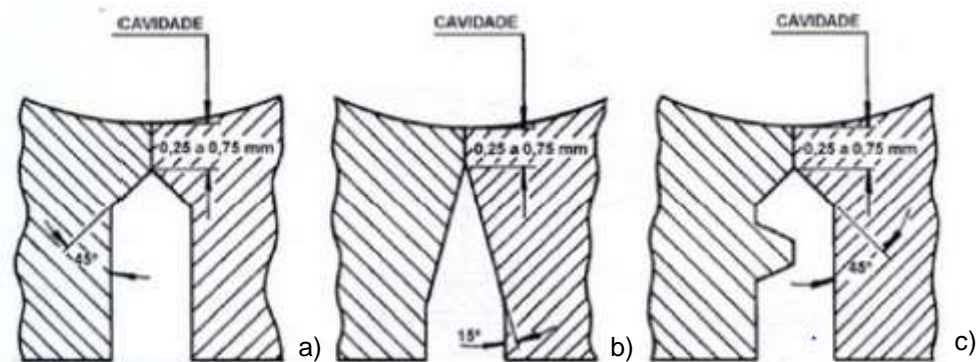


Fonte: LEE, 2007, p. 66.

Como pode ser visto na Fig. 3a, há uma linha de solda boa, mas ainda é necessário cortar a cauda da resina, que geralmente é retirado por um sistema hidráulico/pneumático, onde há garras que arrancam essa cauda. Já a Fig. 3b, representa a diferença de uma linha de solda boa para uma ruim, com isso ela deve ter a forma de um pico e não de um vale. Além disso ela não pode ter cantos vivos, pois isso afeta muito a linha de solda, deixando-a mais frágil.

A Fig. 4 mostra que basicamente há três tipos mais usuais de linhas de solda usadas na manufatura de um molde de sopro.

Figura 4: tipos de linha de solda



Fonte: LEE, Blow Molding Handbook, p. 352.

Dentro da literatura, há diferentes medidas usadas para a linha de solda, Lee (2007) fala que a linha consegue ter um melhor aproveitamento se projetado com alturas entre 0,1 e 0,5 mm com um ângulo de alívio de 15°. Já Kutz (2016) tem uma visão diferente, onde para ele a melhor altura é entre 0,07 mm e 0,1 com um ângulo de alívio de 20°. Com isso o tipo utilizado de linha de solda foi o da Fig. 4a, por ser um modelo mais simples para usinagem e ainda assim sendo funcional.

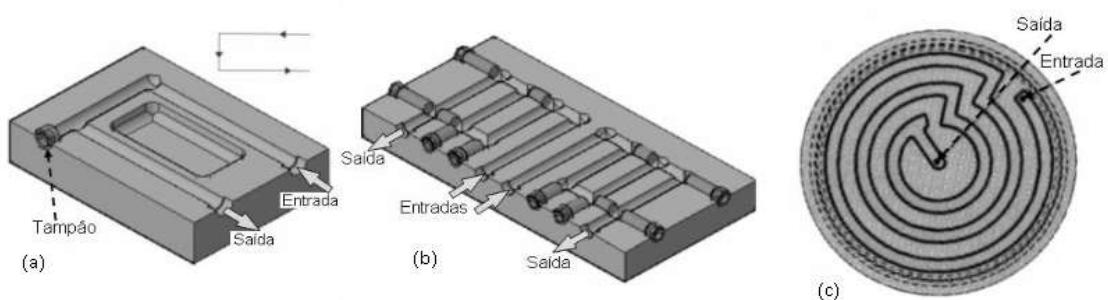
2.2.3 Refrigeração do Molde

O molde recebe o polímero aquecido, sendo assim, tanto o polímero como o molde precisam ser refrigerados para que não danifique o ferramental e o polímero se cristalice tornando-se em uma peça sólida. Isso ocorre pelo fato de os polímeros terem uma baixa condutibilidade térmica, logo, há a necessidade da ajuda de algum tipo de refrigeração que consiga trocar o calor do polímero que está encostando na parede do molde, com o próprio molde.

O sistema de resfriamento da ferramenta em cada metade do molde pode ser integral, ou dividido em várias regiões. O diâmetro dos canais é de 12 a 18 mm; A distância axial, se forem arranjados um em seguida ao outro para o resfriamento de uma grande superfície, é de 20 a 30 mm (SORS *et al.*, 2002).

Para otimizar o ciclo de produção e não desgastar o ferramental, existem três formas mais comuns de refrigeração: a refrigeração em circuito “U”, “Z” e espiral, como mostra a Fig. 5.

Figura 5: circuito “U” (a), circuito “Z” (b) e espiral (c).



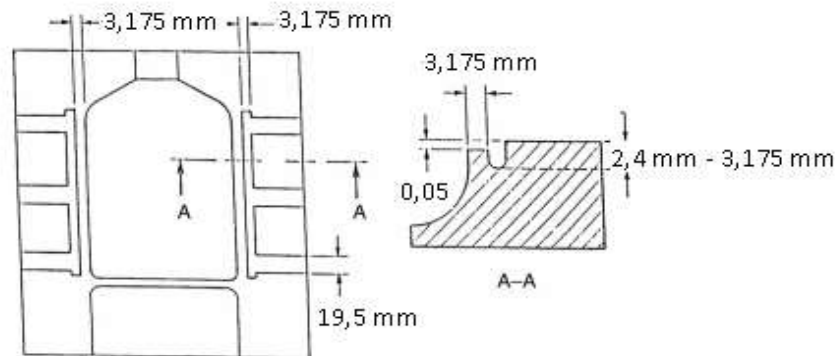
Fonte: QUARESMA, 2013, p. 8.

Quaresma (2015) determinou os tipos de refrigeração, onde o circuito em “U” é mais utilizado em perfis de produtos longos, o “Z” é preferível quando a cavidade possui uma grande área e em moldes que possuem duas cavidades e o espiral é recomendado ser utilizado em peças muito grandes e cilíndricas, onde o número de espirais está associado ao tamanho da peça a ser fabricada.

2.2.4 Ventilação Do Molde

Quando o molde fecha e há o insuflamento de ar para formar o produto, o ar, que já estava presente no interior do molde, fica preso entre o produto e a parede do mesmo, sendo vital que esse ar escape, caso contrário comprometerá essa etapa de produção. Para isso são feitos pequenos caminhos no decorrer do molde, guiando o ar que se encontrava dentro dele para fora. A Fig. 6 está exibindo algumas dimensões mais comuns na fabricação de um molde para sopro.

Figura 6: dimensões comuns para a ventilação no molde.



Fonte: KUTZ, 2016, p. 278.

Segundo Kutz (2016) a ventilação no molde deve ser antecipada para que haja um melhor resultado na remoção do ar preso e um melhor *design* do molde. Normalmente os canais de ventilação são criados em apenas um dos lados do molde, já que um lado com os canais já supre a necessidade de ventilação do molde.

2.2.5 Material Para O Molde

Como no processo de sopro não há muitas forças agindo no molde e pouca ação de compressão, não é necessário fabricá-lo com materiais de muita tenacidade e resistentes, menos para moldes que serão usados por um longo período de produção, mais de milhões de usos.

Dentre todos os materiais utilizados na indústria, o alumínio 7075-T6 é melhor para a fabricação dos moldes, já que possui baixo custo e uma boa usinabilidade, junto de insertos de materiais mais resistentes, que possuem uma maior resistência ao desgaste. Desta forma estes insertos são posicionados nas regiões onde há muito impacto e desgaste, como na parte que o bico de sopro encosta no molde e até na região inferior onde ocorre o *pinch-off*.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

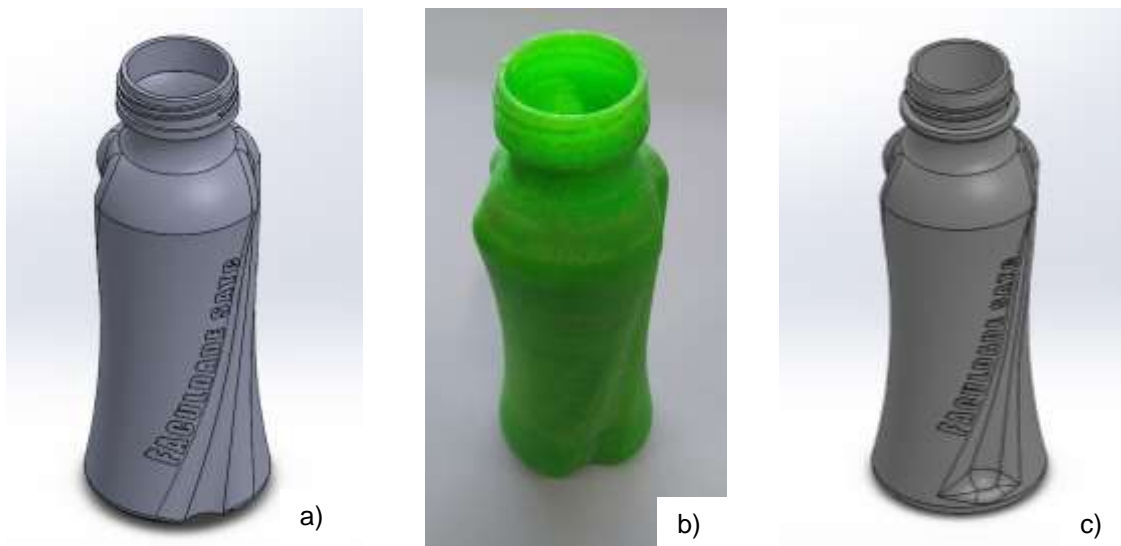
Para manufaturar o molde de sopro, foram necessários meses de planejamento e execução dos procedimentos e nesta seção eles serão apresentados para que haja uma melhor clareza. Estes procedimentos têm início no projeto do molde até a usinagem final de todos os componentes.

3.1 PROJETO DO MOLDE

O molde foi desenvolvido com a finalidade de produzir uma garrafa do tipo squeeze. Todas as partes do molde foram desenvolvidas utilizando o *software* SOLIDWORKS®.

Esta garrafa foi desenvolvida em sala de aula com os alunos da disciplina Projeto de Produto, 9ª fase do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade SATC. Com a definição do modelo da garrafa, uma versão final foi trabalhada, modificando o gargalo e a escrita na lateral da peça.

Figura 7: Projeto da Garrafa Squeeze: a) modelo desenvolvido pelos alunos; b) Modelo impresso na impressora 3D e c) Modelo em sua versão final.

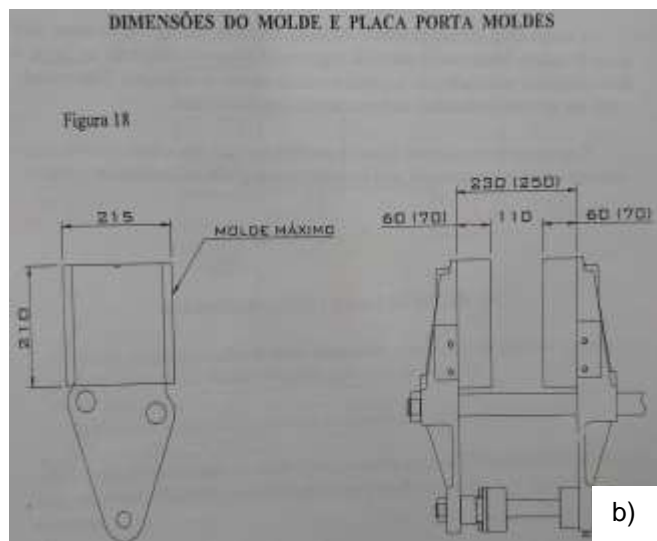


Fonte: do Autor (2019)

Na Fig. 7c observa-se o produto final que foi utilizado para gerar a cavidade do molde de sopro. Dentro todas as mudanças feitas no modelo, como altura da garrafa, fonte e tamanho da letra, design mais ergonômico entre outras, a principal foi redimensionar o gargalo. Acontece que o gargalo antigo não possuía um tamanho certo para encaixar a sua tampa, com isso o seu diâmetro foi diminuído e foi colocado uma base no final da rosca para suportar a tampa.

O equipamento a ser utilizado é uma extrusora sopro da marca PAVAN ZANETTI modelo BIMATIC BMT 1.0S com capacidade de sopro de uma garrafa por ciclo.

Figura 8: Equipamentos a serem utilizados, onde: a) Máquina de sopro PAVAN ZANETTI; b) Limites de projeto do molde.



Fonte: do Autor (2019)

A Fig. 8a e 8b, mostram a máquina de sopro que será utilizada para os testes e seu modelo, série BIMATIC BMT 1.0S e uma das páginas de seu manual, onde define os limites de um molde para a sopro. Ambos auxiliam no desenvolvimento do projeto, já que há uma série de especificações em seu manual como também há alguns projetos de peças da sopradora.

3.2 USINAGEM

A usinagem, tanto para esquadrear quanto para finalizar as peças, foi feita em algumas máquinas presentes na oficina, como a fresadora CNC ROMI DISCOVERY e a CNC ROMI D600, para usinagens mais pesadas, e a retificadora plana de precisão MELLO para trazer um melhor acabamento das peças. A mais utilizada foi a CNC ROMI D600, que com o auxílio do *software* EdgeCAM, desenvolveu-se programas de usinagem para todas as peças do molde.

Esse *software* foi escolhido por ter a capacidade gera um código NC, que o centro de usinagem consegue ler e importar o programa desenvolvido para dentro de seu sistema, e por facilitar nas usinagens complexas de alguns elementos. A Fig. 9 exibe a máquina citada acima.

Figura 9: fresadora CNC ROMI D600.



Fonte: do Autor (2019)

No quesito de ferramentas, as principais delas estão citadas na Tab. 1, onde está exibido o tipo de ferramenta e seus principais parâmetros de corte dentro da usinagem. Esses parâmetros não foram calculados, mas sim, utilizados os mesmos para usinar outras peças de alumínio dentro do laboratório.

Tabela 1: Principais ferramentas utilizadas.

Ferramenta	Avanço (m/min)	Rotação (RPM)
Fresa topo $\varnothing 20$ mm	126	2000
Fresa topo $\varnothing 12$ mm	125	3300
Fresa topo $\varnothing 8$ mm	80	3100
Fresa topo $\varnothing 6$ mm	80	4000
Fresa topo $\varnothing 4$ mm	60	4700
Fresa esférica $\varnothing 6$ mm	80	4000
Fresa esférica $\varnothing 3$ mm	40	4200

Fonte: do Autor (2019)

4 RESULTADOS

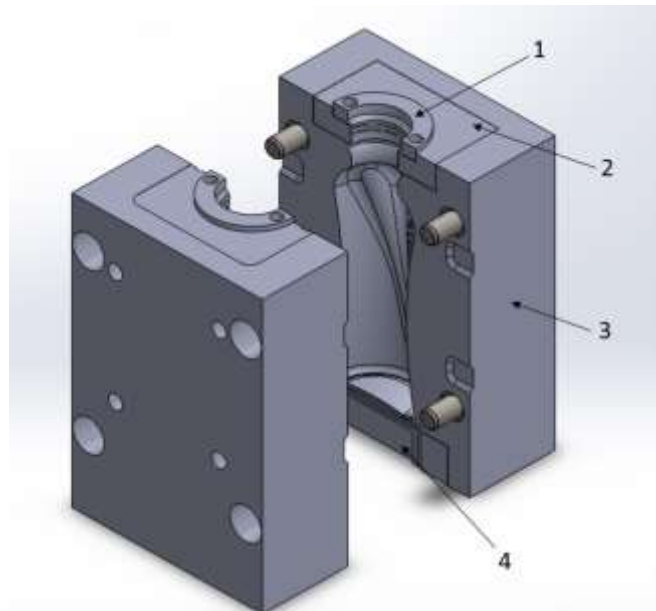
Nesta etapa do artigo, serão apresentados todos os resultados obtidos a partir da escolha do novo modelo de garrafa *squeeze*, constando toda a parte do projeto do molde, com o desenho técnico das peças com as dimensões mais importantes, o seu processo de usinagem e o molde final finalizado.

4.1 MOLDE DE SOPRO

O molde de sopro a ser desenvolvido é dividido em quatro partes, que no final da montagem serão unidas em um único bloco de alumínio, a Fig. 10 exhibe as quatro partes unidas, sendo elas:

1. Peça de sacrifício do gargalo – produzido por aço SAE 1045;
2. Gargalo da garrafa – produzido por aço AISI P20;
3. Corpo da garrafa, refrigeração e fixação – produzido por alumínio 7075-T6;
4. Fundo da garrafa – produzido por aço AISI P20.

Figura 10: montagem final do molde de sopro em CAD 3D.

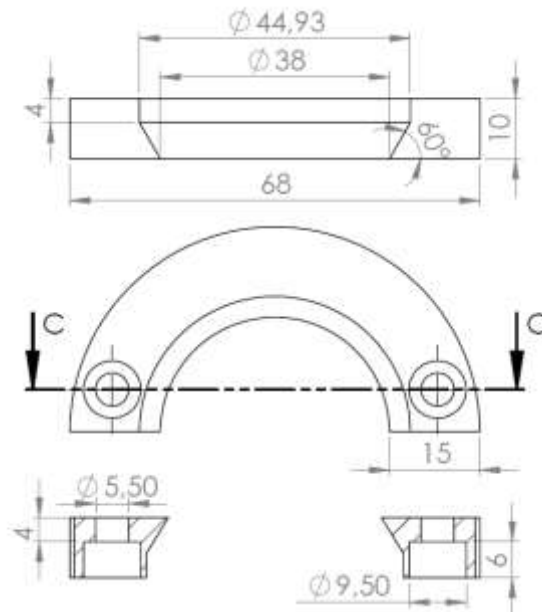


Fonte: do Autor (2019)

Cada parte a ser desenvolvida possui uma função importante para o molde, a Fig. 10 mostra o molde de sopro projetado e suas quatro partes.

A peça de sacrifício, Fig. 11 tem a finalidade exclusiva de não desgastar a peça do gargalo da garrafa, assim poderá ser substituída quando desgastada em decorrência dos esforços constantes do bico soprador de ar.

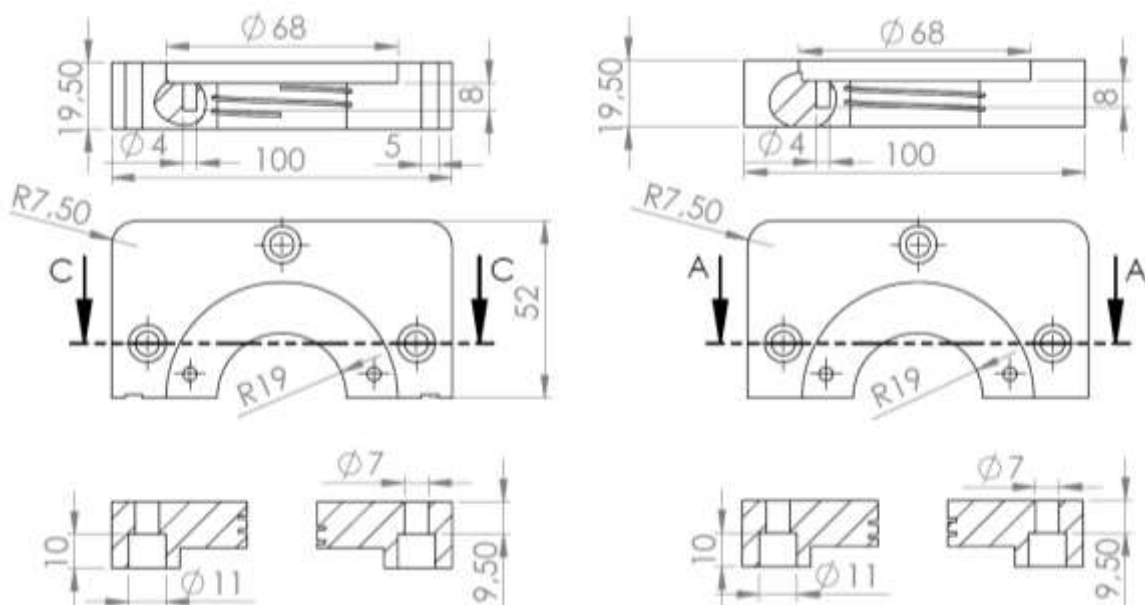
Figura 11: projeto da peça de sacrifício.



Fonte: do Autor (2019)

O gargalo da garrafa (2) tem a finalidade de reproduzir a rosca da garrafa e que neste projeto o material escolhido foi o aço AISI P20 devido a suas propriedades mecânicas. A Fig. 12 está mostrando o projeto do gargalo, onde pode-se observar que a peça da esquerda possui o canal de ventilação de 5 mm de largura e 1,5 de profundidade e a da direita não apresenta esse canal.

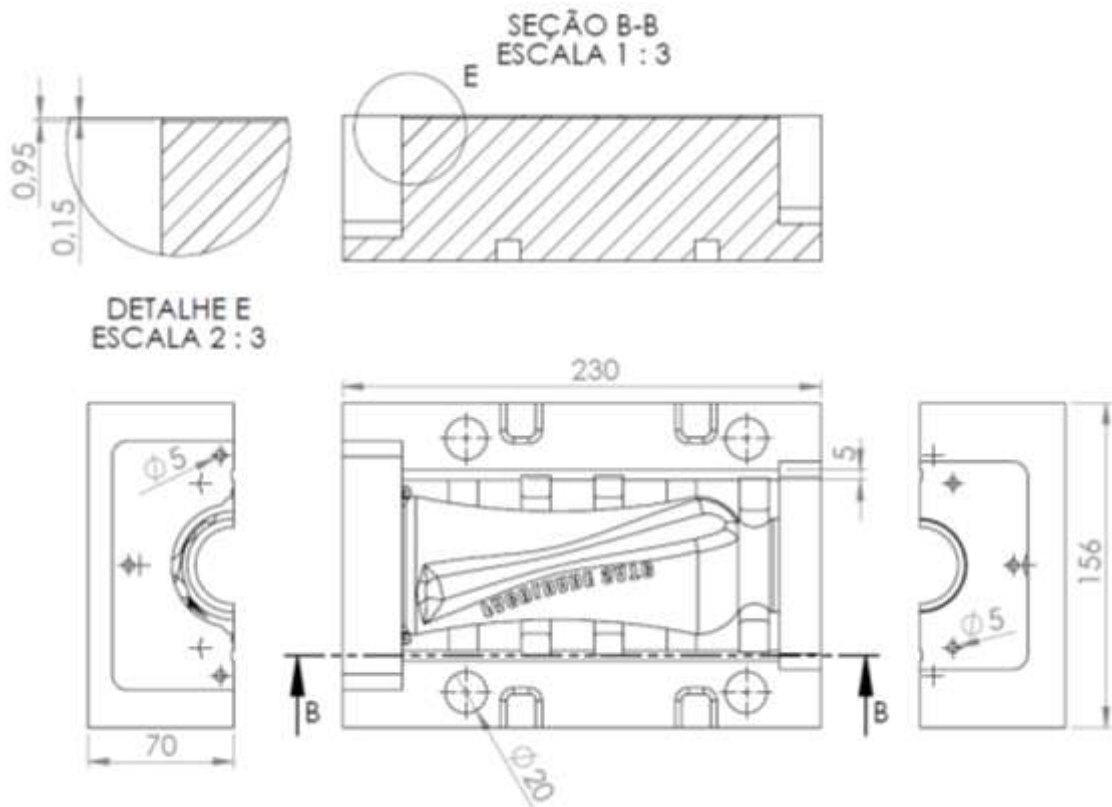
Figura 12: projeto dos gargalos do molde



Fonte: do Autor (2019)

O corpo da garrafa (3) é usinado em um bloco de alumínio, e nele há a parte de refrigeração e os furos para a fixação do molde na máquina de sopro, junto com os espaços para a união das outras partes. A Fig. 13 apresenta o molde com o canal de ventilação, onde possui as mesmas dimensões, no canal principal, do gargalo e do fundo da garrafa, apesar de que há um canal próximo da cavidade do molde que possui 0,05 mm de profundidade.

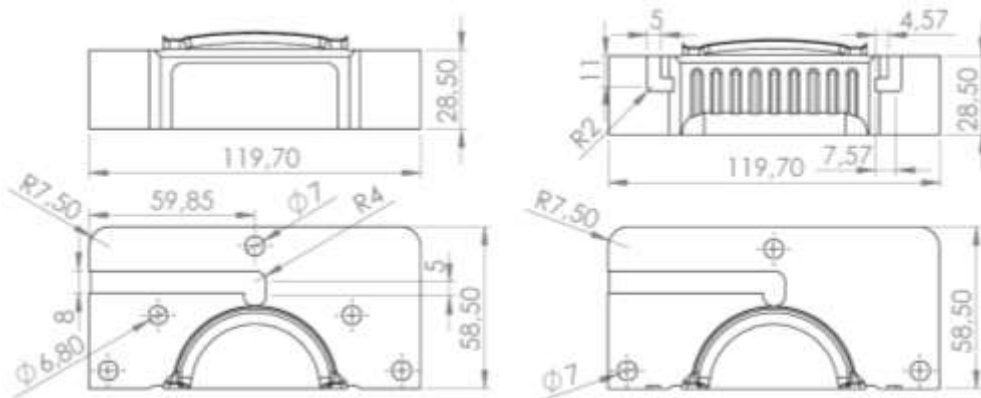
Figura 13: projeto do corpo do molde com ventilação.



Fonte: do Autor (2019)

Por fim a parte que se encontra embaixo do molde (4) é aquela que dá origem ao fundo da garrafa, junto com o seu *pinch-off*. Esta peça é outra que foi escolhido como material base o aço AISI P20, pois também sofre esforços, mas desta vez de um sistema pneumático que é fixado na parte de baixo de uma das peças e no *pinch-off* quando o molde fecha. A Fig. 14 exhibe o projeto das peças, tal que as peças da esquerda são as que possuem o canal de ventilação e as da direita não.

Figura14: projeto das peças do fundo da garrafa.



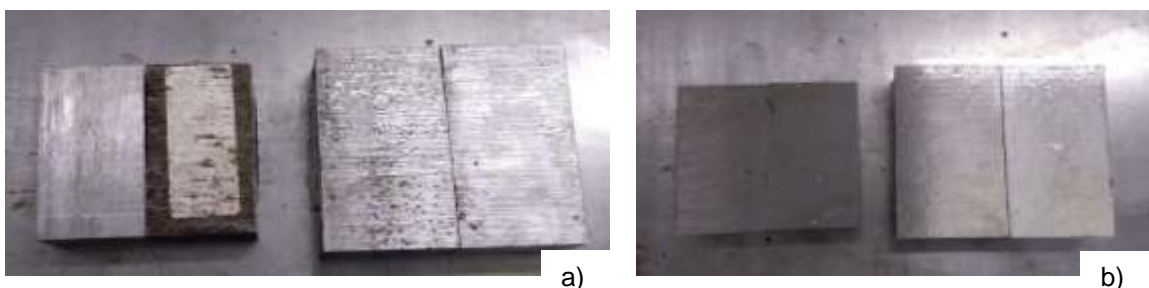
Fonte: do Autor (2019)

4.2 PRÉ-USINAGEM DOS BLOCOS

Com os materiais adquiridos iniciou a etapa de pré-usinagem, onde os blocos de aço P20 seriam esquadrejados em uma fresadora CNC ROMI DISCOVERY, para que fiquem com as dimensões mais próximas daquelas definidas no projeto e logo em seguida levando-os para a retificadora plana de precisão MELLO, para um melhor acabamento da superfície.

A Fig. 15a e 15b exibe os blocos de aço P20 quando recebido e logo após serem pré-usinados, que em seguida seriam levados para outra máquina para completar a usinagem e originar a peça final.

Figura 15: Pré-usinagem das peças: a) blocos de aço P20 não usinados e b) após a pré-usinagem.



Fonte: do Autor (2019)

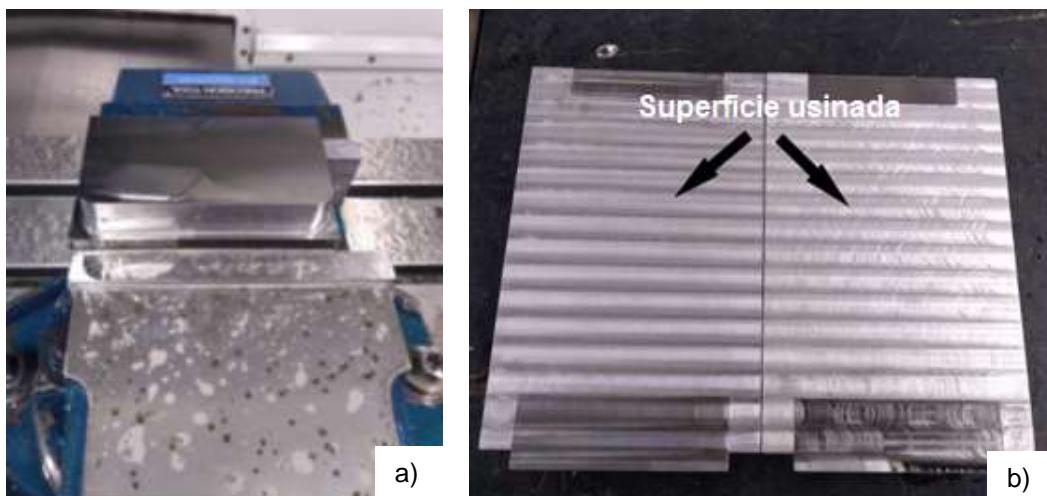
Os blocos de alumínio que já estavam presentes no laboratório também precisaram passar por esta etapa de pré usinagem, já que eles não estão com as medidas certas para o presente projeto. Primeiramente foi feito uma usinagem, que

seria rebaixar o bloco inteiro que possuía 75 mm de altura para 70 mm de altura conforme o projeto.

Então foi feita uma usinagem na parte inferior do mesmo para o inserto do bloco de aço P20 (bloco que irá compor a parte inferior da garrafa squeeze). É uma usinagem simples, fazendo um rebaixo para que o bloco de P20 se encaixe sem folga e os furos para fixação. Após essa usinagem, as roscas já foram feitas nos furos para que depois já possa pré-montar o molde.

Com as usinagens dos rebaiços finalizadas, usinou-se os blocos de P20 para serem encaixados no bloco de alumínio e assim realizar algum ajuste caso necessário. A Fig. 16a mostra como o bloco foi preso na morsa da D600 e o processo de usinagem para deixá-lo nas dimensões corretas para encaixar no bloco de alumínio. Na Fig. 16b, pode-se observar o molde montado com os parafusos M8 fixando os blocos, já a seta indica a superfície que foi usinada.

Figura 16: Pré-usinagem dos materiais: a) usinagem dos blocos de aço P20 inferiores e b) molde montado com altura ajustada.



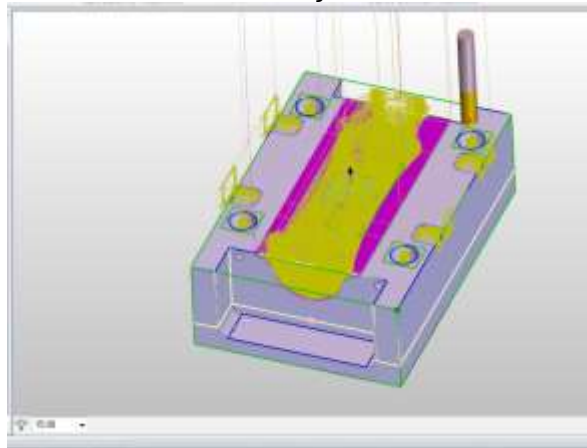
Fonte: do Autor (2019)

A partir dos blocos de P20 prontos, foi feita uma pré-montagem do molde com o inserto superior e inferior fixados no bloco de alumínio para observar se há a necessidade de ajustar a altura do molde. Como houve uma pequena diferença entre as alturas dos três blocos, o molde inteiro foi levado para a fresadora DISCOVERY para concluir essa etapa deixando a superfície usinada no mesmo plano.

4.3 USINAGEM FINAL

As usinagens a seguir foram efetuadas no centro de usinagem ROMI D600, já que a geometria das peças é muito complexa, logo a ajuda da programação em *software* facilitou estes processos. A Fig. 17 exibe a tela do programa EdgeCAM, junto da simulação de uma das peças.

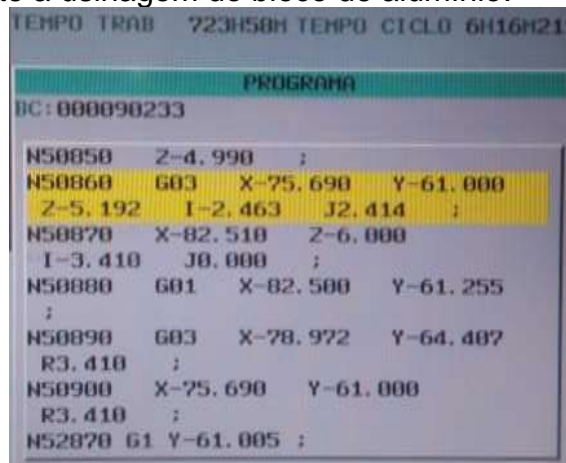
Figura 17: Interface e simulação no *software* EdgeCAM.



Fonte: do Autor (2019)

A Fig. 18 apresenta a tela da D600 durante a usinagem do bloco de alumínio, nela pode ser visto o tempo de ciclo (duração da usinagem até o momento da foto), a sigla BC (quantidade de linhas de programação já realizadas no ciclo), o tempo total trabalhado nesta máquina e as linhas de programa que estão sendo efetuadas.

Figura 18: tela da D600 com o número de linhas e tempo de ciclo durante a usinagem do bloco de alumínio.



Fonte: do Autor (2019)

A usinagem do fundo foi realizada em duas etapas, sendo uma delas a usinagem da lateral do bloco e a outra a parte superior. A lateral é o lugar onde se encaixa o dispositivo pneumático que auxilia na remoção do material excedente e a parte superior é onde forma o fundo da garrafa.

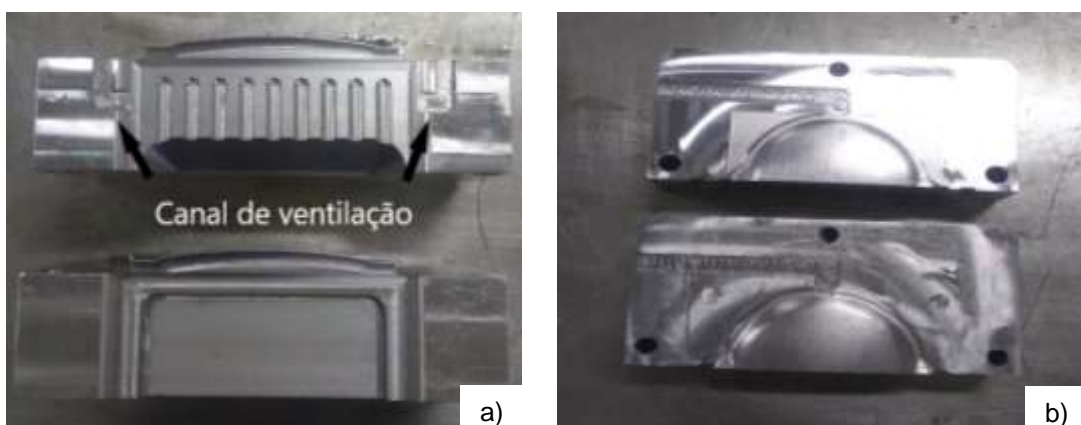
Como o molde é bipartido, algumas peças apresentam alguma diferença entre si. A diferença entre os blocos inferiores do molde é que um deles possui todo o canal de ventilação da matriz e o outro possui os furos de fixação do dispositivo pneumático.

Como o fundo da garrafa possui um *design* complexo, cheio de raios e curvaturas, a usinagem de cada lado durou cerca de uma hora e meia. A usinagem acabou demorando por causa da programação escolhida, usinagem paralela, que com a ajuda de uma fresa esférica de três milímetros, proporcionou o acabamento final dos elementos complexos.

Esta etapa do processo exigiu usinagem de precisão, pois a peça encaixa sem folga nos espaços do bloco de alumínio e também quando o molde começar o ciclo e fechar, as duas metades devem se encontrar formando o fundo da garrafa sem deslocamento.

Não houve nenhum problema em relação a sua usinagem, foi um programa simples de ser feito, menos na parte do fundo que exigiu um pouco mais de precisão. A Fig. 19a mostra a usinagem final da parte lateral da peça, junto do detalhe do canal de ventilação de uma das peças e a 19b a parte do fundo da garrafa.

Figura 19: blocos de P20 após usinagem final para o fundo da garrafa: a) canais de ventilação e b) fundo da garrafa.



Fonte: do Autor (2019)



O bloco de alumínio foi o próximo a ser usinado pelo fato de ser o mais demorado. As duas metades desse bloco são quase idênticas, possuindo a mesma cavidade e os mesmo furos para encaixe de colunas e buchas, mas uma das metades contém o canal de ventilação.

Foram necessárias em torno de 5,5 horas de usinagem e cerca de 8 ferramentas para finalizar a usinagem do corpo do molde. As ferramentas principais utilizadas nesse processo foram a fresa topo esférica de 6 mm e a topo esférica de 3 mm (diâmetro). A fresa de seis milímetros foi utilizada junto com a usinagem paralela, recurso citado anteriormente, para resultar em um melhor acabamento de superfície para o corpo da garrafa e a de três milímetros para um melhor acabamento nas letras presentes, formando “FACULDADE SATC”.

O bloco que possui o canal de ventilação, foi o bloco que mais demorou em todas as usinagens, completando seis horas e meia. Isso ocorreu porque optou-se por um melhor acabamento na superfície da cavidade. Então, a fresa responsável por isso tinha um deslocamento muito pequeno (5 % de incremento na distância). Esses mesmos fatores ocorreram no bloco da direita, mas acabou sendo mais rápido, cerca de quatro horas e meia, já que não possui o canal de ventilação para ser usinado.

Essa usinagem foi muito difícil devido ao acabamento necessário a garrafa e a precisão. Na Fig. 20 pode ser visto o corpo do molde todo finalizado com os detalhes, principalmente da escrita “FACULDADE SATC” que é um dos diferenciais do projeto, junto com o canal de ventilação em um dos lados do molde e os furos para colunas e buchas.

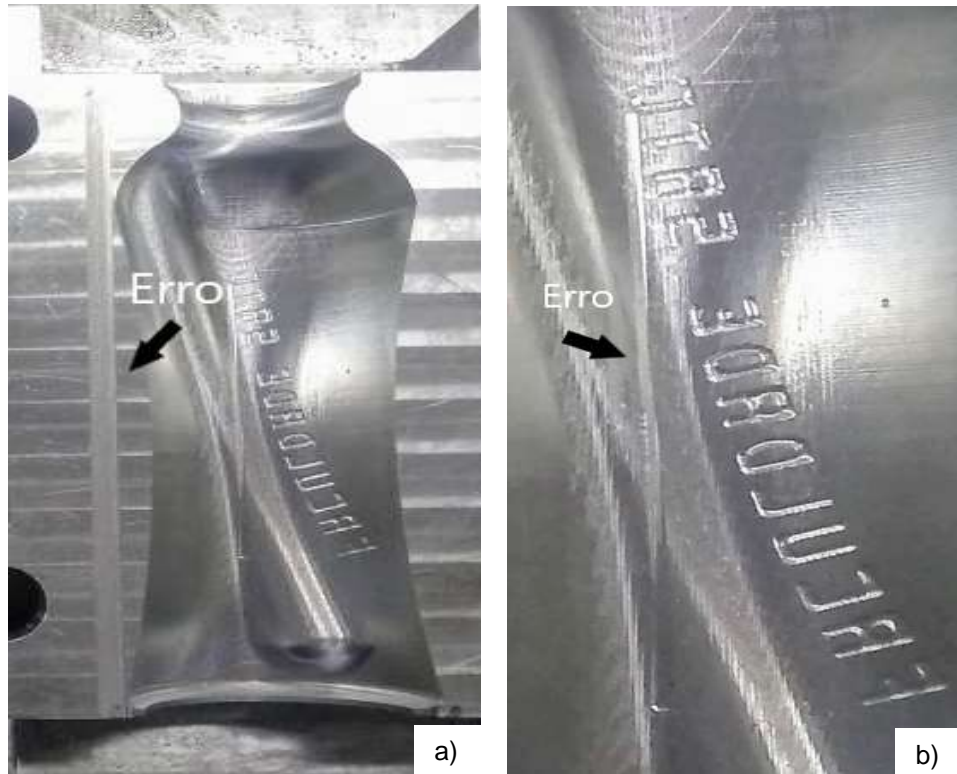
Figura 20: blocos de alumínio após usinagem final para o corpo da garrafa.



Fonte: do Autor (2019)

Neste processo de usinagem houve um pequeno problema com o zeramento da altura do molde, tal que as ferramentas que faziam o acabamento da cavidade e da escrita, acabaram ficando um décimo de milímetro mais baixo em relação ao zeramento. Com isso na parte de acabamento superficial, a ferramenta esférica de 6 mm usinou um pouco da superfície, deixando uma marca no molde, como a seta na Fig. 21a mostra. Já a outra ferramenta, a esférica de 3 mm, acabou causando um erro maior, pois ela usinou uma linha no fundo do molde na hora de fazer o acabamento da escrita, assim quando a garrafa plástica for produzida terá uma “cicatriz” nela, a seta na Fig. 21b exibe o erro.

Figura 21: Erros de usinagem: a) erro na superfície do molde e b) erro na cavidade do molde.

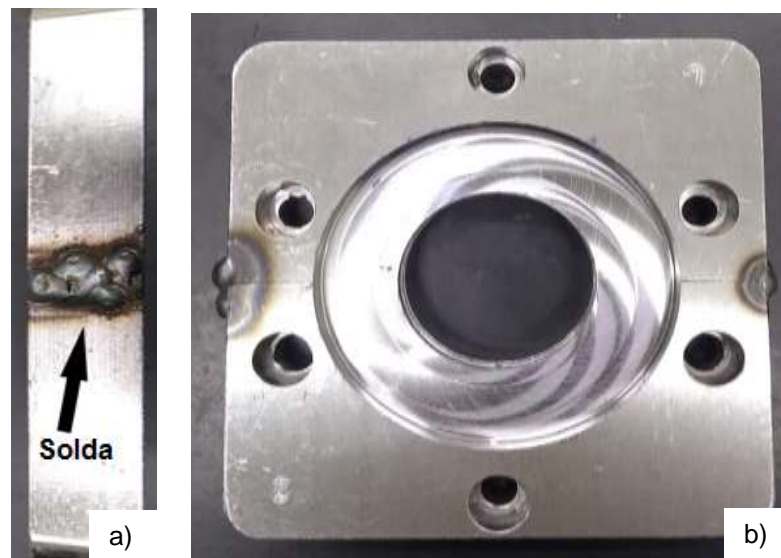


Fonte: do Autor (2019)

Para a última peça do molde, o gargalo, houve um pequeno problema de usinagem: não pôde ser usinado uma peça por vez. Isso seria um problema para a rosca da peça, que precisa ter precisão e um passo de rosca contínuo. Como solução foi utilizado uma abordagem diferente para esta peça, mas ainda sendo usinada na D600.

Para começar, as duas peças que formam o gargalo foram alinhadas em todos os lados, e então soldadas em ambas as laterais, como a seta na Fig. 22a mostra, já a Fig. 22b mostra como as duas peças se apresentam após a solda.

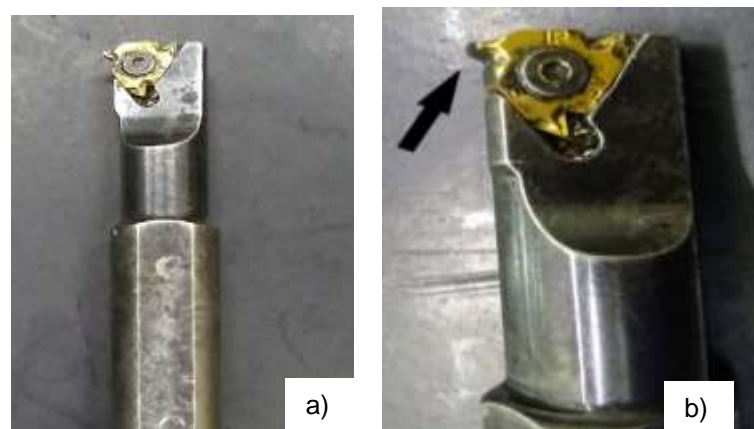
Figura 22: Fabricação do gargalo: a) solda para a união das peças e b) peça soldada.



Fonte: do Autor (2019)

Outra parte importante para a usinagem do gargalo, era desenvolver uma ferramenta para criar o canal da rosca. Logo foi escolhido um suporte para rosca interna utilizado em torneamentos e a pastilha presente nessa ferramenta foi afiada para obter o perfil de rosca projetado anteriormente. A Fig. 23a está exibindo a ferramenta escolhida para esse processo de usinagem e a seta presente na Fig. 23b, a pastilha afiada.

Figura 23: Usinagem do gargalo: a) suporte da ferramenta e b) pastilha afiada para perfil de rosca.



Fonte: do Autor (2019)

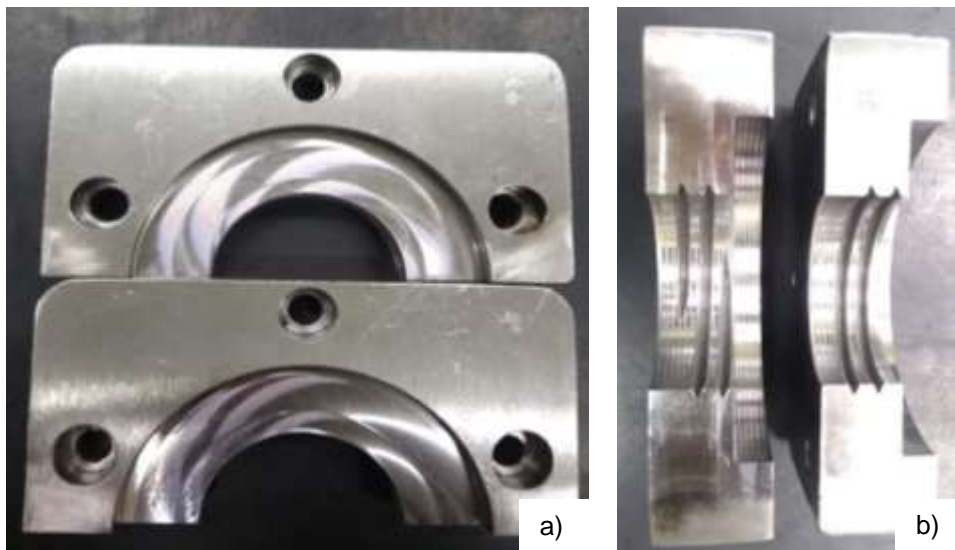
Após a conclusão desses preparativos, se usou um método de interpolação

na fresa D600 para gerar um programa de usinagem com o intuito de executar a rosca da peça. A usinagem foi feita a partir do diâmetro da ferramenta mais a pastilha, e foi sendo ajustada aos poucos até 1,5 mm de profundidade da rosca.

Para fazer a usinagem desta peça foi preciso primeiro de uma usinagem de teste. Então foram pegos dois blocos de aço 1045, passaram pelo mesmo processo descrito pelo procedimento experimental e quando o resultado final gerado satisfizes as dimensões do projeto, iniciou-se essa etapa nos blocos de P20.

O único problema nesta etapa foi a primeira ferramenta a ser escolhida para fazer a usinagem. Esta primeira ferramenta conseguiu usinar sem dificuldade os blocos de aço 1045, mas na hora de usinar os blocos de aço P20 passou por uma certa dificuldade em consequência da dureza do material. Como esse aço possui uma dureza elevada, a ferramenta perdeu a afiação e usinou uma rosca de aproximadamente 0,1 mm de profundidade. Tendo em vista a dureza do material, optou-se por escolher outra ferramenta para esta usinagem, logo foi escolhida uma pastilha adequada e recomendada para utilização no material que se pretendia usinar. A Fig. 24a exibe o gargalo usinado em uma vista superior e a Fig. 24b o gargalo em uma vista lateral, fornecendo uma imagem da rosca da peça final.

Figura 24: blocos de P20 após usinagem final para o gargalo da garrafa, onde: a) Vista superior do gargalo bi-partido e b) perfil da rosca do gargalo.



Fonte: do Autor (2019)



5 CONCLUSÃO

Ao finalizar esse projeto, foi visto que se torna difícil produzir moldes para a sopradora por causa da escassez do material bibliográfico disponível, mas que mesmo passando por essas dificuldades é possível desenvolver e trazer ao final do trabalho um molde completo.

Em relação ao erro que ocorreu no corpo do molde, se trata do método de zeramento que é utilizado na máquina CNC ROMI D600, que acaba sendo pouco confiável quando se necessita de precisões centesimais. Com isso a ferramenta usinou em uma altura diferente, em relação ao zeramento no molde, e marcou a superfície do mesmo. Ainda mais que se esse molde fosse destinado para o mercado, envolvendo clientes, datas de entrega, esse erro seria um incômodo para a data de entrega e possíveis atrasos. Para resolver esta não conformidade, o sistema de zeramento necessita ser aprimorado, visando um sistema com uma precisão melhor para que as peças usinadas não sofram por alguma falha do gênero

Houve muita dificuldade para reproduzir o perfil de rosca projetado, o método utilizado neste trabalho não é comum, pois se trata de uma improvisação por não possuir o ferramental adequado para fazer. Como consiste em usar uma ferramenta que não é própria para a máquina e um tipo de usinagem que não é padrão para este processo, a usinagem torna-se predisposta a causar algum tipo de defeito. Então é imprescindível a busca de uma nova forma, mais confiável e mais segura, para reproduzir o gargalo dos moldes futuros.

Para aproveitar ao máximo essa garrafa produzida, falta desenvolver uma tampa para ela, tendo em vista que seria necessário a manufatura de uma outra matriz, mas para a injetora. Assim a garrafa seria totalmente funcional, já que o único componente que falta é a própria tampa.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, Fábio. **Moldagem por Sopro**. 2013. Disponível em: <<https://industria hoje.com.br/moldagem-sopro>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

GLOACKI, Maurício Henrique; FELICIANO, Anderson Feitosa Silva. **Processamento e aplicação dos polímeros**. 2010. 18 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia dos Materiais, Utfpr, Pato Branco, 2010.



HAROLD, F.; GILES, JR. **Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook**. 2004.

KUTZ, Myer. **Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Materials, and Applications**. 2. ed. Delmar: William Andrew, 2016. 784 p.

LEE, Norman C. **Understanding Blow Molding**. 2. ed. Alemanha: Hanser, 2007. 200 p.

PELEGRINI, Fabrício de Araújo. **Moldagem por Sopro: dependência e sincronia com outros processos**. 2012. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Polímeros, Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012.

QUARESMA, Rakel Angélyca Bonette. **Desenvolvimento de um ferramental para processo de extrusão e sopro de polímero aplicado a fabricação de brinquedos educativos**. Artigo (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade SATC, Criciúma, 2015.

SORS, László et al. **Plásticos, Moldes e Matrizes**. Curitiba: Hemus, 2002. 490 p.