

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MURILLO MENDES

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE MOLDE POROSO EM EPÓXI
PARA COLAGEM SOB PRESSÃO DE PEÇAS CERÂMICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
(Tcc2 - Nº de Inscrição - 33)

CURITIBA

2018

MURILLO MENDES

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE MOLDE POROSO EM EPÓXI
PARA COLAGEM SOB PRESSÃO DE PEÇAS CERÂMICAS**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - TCC2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientadora: Profa. Ph.D. Márcia Silva de Araújo

Coorientador: Prof. Dr. José Alberto Cerri

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "PROJETO E CONSTRUÇÃO DE MOLDE POROSO EM EPÓXI PARA COLAGEM SOB PRESSÃO DE PEÇAS CERÂMICAS", realizado pelo aluno(s) MURILLO MENDES, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Profa. Ph.D. Márcia Silva de Araújo
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Dr. José Alberto Cerri
DACOC, UTFPR
Coorientador

Prof. Dr. Celso Salamon
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Prof. Dr. Lucas Freitas Berti
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 28 de junho de 2018.

O Termo de Aprovação assinado encontra-se em arquivo da coordenação

RESUMO

MENDES, Murillo. Projeto e construção de molde poroso em epóxi para colagem sob pressão de peças cerâmicas. 2018. 49 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal Paraná. Câmpus Curitiba, 2018.

A indústria cerâmica representa uma grande parte da produção do país, mas vem perdendo força com a importação de produtos de louça de mesa. Percebe-se então a necessidade do setor se reinventar. Principalmente porque a produção nacional ainda depende do tradicional processo de colagem de barbotina, já há muito tempo ultrapassado em questão de produtividade e automação. Como alternativa à grande quantidade de moldes de gesso necessários ao processo, foi projeto e construído um molde poroso em resina epóxi para a colagem sob pressão, processo mais avançado que reduz consideravelmente a mão de obra necessária e aumenta a produtividade e qualidade do produto. O molde desenvolvido foi testado em uma máquina protótipo a fim de analisar o resultado proveniente dos conceitos aplicados. Estes são principalmente o uso de uma nova composição de espuma porosa de resina epóxi em conjunto com um molde multicamadas construído com a metodologia de canais internos para escoamento da água. O molde protótipo apresentou necessidade de melhorias, mas possui características promissoras. A ideia do projeto foi fornecer uma alternativa nacional para a fabricação de moldes para a colagem sob pressão de peças para a indústria de louça de mesa, com foco nos micro e pequenos produtores brasileiros.

Palavras-chave: Colagem sob pressão. Molde poroso em epóxi. Espuma epóxi.

ABSTRACT

MENDES, Murillo. Project and construction of a porous epoxy mold for pressure slip casting of ceramic parts. 2018. 49 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal Paraná. Câmpus Curitiba, 2018.

The ceramic industry represents a large portion of the production in Brazil but has been losing space as more and more ceramic tableware products are imported from other countries. Therefore, the sector notices the need to reinvent itself. The reason is mainly because the Brazilian production still relies heavily on the traditional process of conventional slip casting, which has been long surpassed by the productivity and automation offered by the pressure slip casting process. As an alternative to the big amount of plaster molds required to the conventional process, a porous epoxy resin mold has been projected and constructed for the pressure slip casting method. The developed mold was then tested in a prototype pressure slip casting machine with the intent to analyze the results provided by the applied concepts. These include the use of a new porous epoxy composition in junction with a multileveled mold built with the aid of a methodology to form internal canals for the flow of water. The final prototype still needs improvements but has shown promising characteristics. The idea was to provide a national alternative to the pressure slip casting mold manufacturing method with a focus on tableware products and micro or small producers.

Keywords: Pressure slip casting. Porous resin mold. Epoxy foam.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de colagem de barbotina.....	11
Figura 2 - Processo de colagem sob pressão	13
Figura 3 - Materiais porosos manufaturados	16
Figura 4 - Conjunto para moldagem e molde de silicone	19
Figura 5 - Corpos de prova de permeabilidade (esquerda) e compressão (direita) ..	20
Figura 6 - Aparato para medição de permeabilidade e formação de parede	21
Figura 7 - Máquina protótipo de colagem sob pressão	22
Figura 8 - Painel de comando da máquina e tanque misturador de barbotina	22
Figura 9 - Placa de fixação e laca de fixação.....	23
Figura 10 - Modelo representativo do molde.....	25
Figura 11 - Esquema simplificado dos canais internos	26
Figura 12 - Camadas do molde.....	27
Figura 13 - Esquema de furação dos tubos de PVC	28
Figura 14 - Desenho das laterais de madeira.....	29
Figura 15 - Conjunto de modelos e caixa	30
Figura 16 - Camada 1 após a aplicação.....	30
Figura 17 - Camada 2 após aplicação, já com tubos introduzidos	31
Figura 18 - Sistema de suporte e posicionamento das barras verticais	31
Figura 19 – Montagem do sistema de varetas verticais	32
Figura 20 – Camada 3 após aplicação.....	33
Figura 21 – Antes e depois das operações finais nos tubos de PVC.....	33
Figura 22 - Molde finalizado	34
Figura 23 - Molde finalizado com todas as correções necessárias	35
Figura 24 – Paredes próximas as entradas das cavidades danificadas.....	37

Figura 25 - Camada 1 destruída durante a desmoldagem	37
Figura 26 - Camada 1 com falha de desmoldagem corrigida	38
Figura 27 - Defeito na superfície do molde	38
Figura 28 - Deslocamento sofrido na parte inferior do molde.....	39
Figura 29 - Vareta horizontal após ser cortada	41
Figura 30 - Espigões instalados para a correção da falha	41
Figura 31 - Molde fixado na máquina protótipo	42
Figura 32 - Antes e depois da entrada da barbotina no molde.....	47
Figura 33 - Molde após o teste.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações sobre a resina epóxi e o agente de cura.....	18
Tabela 2 - Composições para a elaboração das espumas	19
Tabela 3 - Camadas para o corpo de prova de compressão.....	20
Tabela 4 – Composições das camadas do molde.....	27
Tabela 5 - Custo de materiais utilizados no primeiro molde.....	43
Tabela 6 - Custo de materiais considerando reutilização de peças	44
Tabela 7 - Deformação dos corpos de prova à pressão de 0,7 MPa	46
Tabela 8 - Módulo de elasticidade dos corpos de prova	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Caracterização do problema	9
1.2	Objetivos	9
1.3	Justificativa	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Colagem de barbotina	11
2.2	Colagem sob pressão	12
2.3	Vantagens e desvantagens entre os processos de colagem	13
2.4	Espuma de resina epóxi	14
2.5	Escoamento em meio poroso	15
2.6	Fabricação de molde para colagem sob pressão	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1	Obtenção da espuma	18
3.2	Obtenção dos corpos de prova	19
3.3	Análise das amostras	21
3.4	Fixação e teste do molde na máquina protótipo	21
3.5	Ensaio de resistência à compressão	23
4	PROJETO E CONFECÇÃO DO MOLDE	25
4.1	Projeto do molde	25
4.1.1	Camadas do molde	27
4.2	Confecção do molde	28
5	ANÁLISE DO MOLDE E DA SUA CONFECÇÃO	35
5.1	Comparação entre o projeto e o molde final	35
5.1.1	Sugestões de melhorias de projeto	36
5.1.2	Sugestões de melhorias no processo de construção	38
5.2	Análise do peso do molde	42
5.3	Análise do custo do molde	43
5.4	Resistência à compressão	44
5.5	Teste do molde na máquina protótipo	46
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Um dos setores de cerâmica mais tradicionais do Brasil é o de louça de mesa, principalmente nas regiões sudeste e sul do país. Porém, de acordo com Bustamante *et al.* (2000) as micro e pequenas empresas têm tido dificuldade em acompanhar a concorrência, tanto interna quanto externa. Este setor necessita de mão de obra intensiva, portanto a concorrência vem de países como China, Portugal e Inglaterra. A importação, principalmente de produtos chineses, tem afetado o desempenho da indústria nacional, que vem trabalhando com menos de 60% da capacidade instalada (PRADO *et al.*, 2013).

O mercado nacional de louça de mesa é composto em grande parte por empresas localizadas nos polos de Pedreira, Porto Ferreira, Andradas e Campo Largo. A cidade de Campo Largo, no estado do Paraná, reúne diversas empresas do setor cerâmico, desde a produção de porcelana elétrica a revestimentos de piso e parede. Portanto, houve a organização de um arranjo produtivo local (APL) para impulsionar as exportações. A importância desta indústria para a cidade pode ser percebida nos números, 60% do ICMS para o município são arrecadados deste setor, responsável por gerar em torno de 25.000 empregos diretos (ARAÚJO *et al.*, 2012). No país existem aproximadamente 500 empresas, que produzem 200 milhões de peças de louça de mesa por ano (PRADO *et al.*, 2013).

Um dos métodos tradicionais utilizados na indústria para a produção de louça é a colagem de barbotina, o que explica a grande necessidade de mão de obra. Como uma maneira de contornar este problema, as empresas de louça de mesa podem investir em um processo mais atual, a colagem sob pressão (ZORZI, 2004), já bastante difundido no setor de louça sanitária. Com essa mudança, o processo se torna mais rápido e a demanda por mão de obra é menor, já que há a automação ou semi-automação da produção.

1.1 Caracterização do problema

O grande obstáculo, porém, é o custo dos equipamentos. Muitas máquinas são importadas e os moldes são vendidos pela mesma empresa, especificamente para a máquina deles. Ou seja, é uma venda casada e os moldes também não são fabricados no Brasil (ARAÚJO *et al.*, 2012). Para micro e pequenos produtores de louça de mesa, a barreira do custo é muito elevada.

Diversos estudos foram desenvolvidos nesta área, seja avaliando a efetividade e possibilidade da aplicação do processo de colagem sob pressão na indústria de louça de mesa (ARAÚJO *et al.*, 2012), ou atuando na diminuição deste investimento inicial através da construção de uma máquina protótipo de colagem sob pressão e da obtenção de um material adequado para o molde (PALUCH *et al.*, 2016).

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é o projeto e a construção de um molde para colagem sob pressão para a produção de louça de mesa. Também foi determinada a resistência à compressão do conjunto de camadas do molde, e ainda, posteriormente o molde foi testado em uma máquina protótipo de colagem sob pressão já desenvolvida na UTFPR.

1.3 Justificativa

Com participação da ordem de 1,0% no PIB – Produto Interno Bruto – a indústria cerâmica apresenta uma grande importância para o país, portanto avanços na área, principalmente em produtividade e acessibilidade à tecnologia são bem-vindos. Mesmo que a produção brasileira de equipamentos para a indústria cerâmica seja da ordem de US\$ 25 milhões (BUSTAMANTE *et al.*, 2000), há casos como a colagem sob pressão aplicada à produção de louça de mesa em que a oferta de equipamentos ainda é baixa. Como consequência, o custo torna-se elevado.

Percebe-se, então, além da necessidade de uma máquina acessível, a necessidade também de uma técnica nacional para a produção de moldes para a colagem sob pressão de louça de mesa. Ambos tendo em vista os micro e pequenos

produtores, que acabam dependendo de processos com mão de obra intensiva como alternativa. Segundo Araújo *et al.* (2012), há dificuldade inclusive no recrutamento desta mão de obra no APL de Campo Largo, pois a remuneração é baixa quando comparada à outras oportunidades de mercado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o estudo da moldagem, primeiramente é necessário entender os processos. Entre os processos de fabricação cerâmica, os mais utilizados são a colagem de barbotina, o torneamento mecânico e manual, a colagem sob pressão e a prensagem isostática. No setor de interesse do trabalho, o foco está nos processos de colagem.

2.1 Colagem de barbotina

A colagem de barbotina, assim como o *tape casting* e o *gelcasting*, é um método de conformação fluida de cerâmica. Esse tipo de processo depende do comportamento reológico da suspensão cerâmica, que controla o escoamento da suspensão de partículas e conseqüentemente a facilidade da conformação (HEIMANN, 2010). Esta técnica é bastante antiga, usada desde 1700 na Europa, sendo que a primeira aplicação com defloculantes é mencionada por Brongniart em 1844. O processo consiste em utilizar um molde poroso de gesso, no qual é derramada a barbotina. O molde absorve a água da barbotina até que o material cerâmico se torne rígido o suficiente para sustentar o próprio peso (NORTON, 1973). Na Figura 1 é apresentado o processo em três etapas até a formação da parede (ERGUN, 2004).

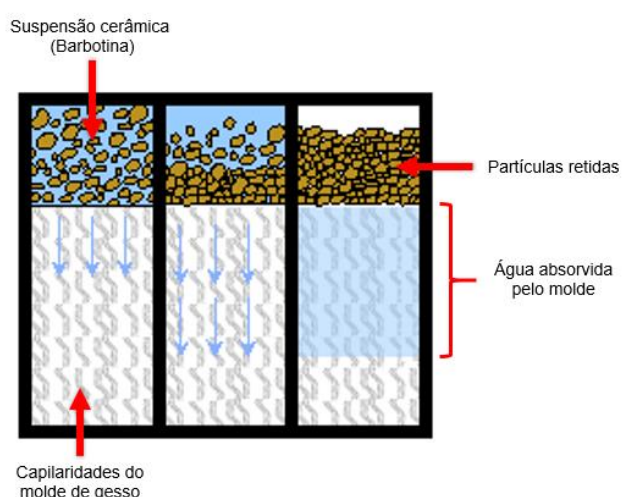


Figura 1 - Processo de colagem de barbotina

Fonte: Adaptado de Ergun (2004).

O processo de colagem é bastante utilizado em casos no qual o produto não é um sólido de revolução e, portanto, não pode ser fabricado em um torno. Por essa razão, os principais produtos são de louça doméstica e sanitária, peças artísticas, peças da indústria de encanamentos industriais e blocos de revestimento de tanques industriais (NORTON, 1973). A colagem é muito empregada em razão da sua simplicidade, baixo custo de investimento e capacidade de produzir peças de geometria complexa (CATAFESTA *et al.*, 2007).

2.2 Colagem sob pressão

Com a necessidade de aumentar a produtividade e diminuir a mão de obra, foi desenvolvida a técnica de colagem sob pressão. Ao adicionar esta nova variável, a pressão, há a aceleração da formação de parede, além de resultar em microestruturas mais homogêneas, devido à diminuição da segregação de partículas (BERGER, 1990). Este método é utilizado para produção em grande escala, casos em que o emprego de sistemas parcialmente automatizados é muito bem-vindo.

Como os moldes são geralmente submetidos a pressões entre 10 e 15 bar (KRAUS, 1993), eles devem apresentar boas propriedades mecânicas, permeabilidade homogênea, boa resistência à abrasão para garantir a precisão dimensional após vários usos e respeitar os requisitos de porosidade (GALHARDI, 1998). Os moldes, usualmente de materiais poliméricos, possuem poros maiores quando comparados ao molde de gesso e não precisam ser secos. A quantidade de água na peça seca é menor, de 3-3,5% para 1-1,5%, o que faz com que o tempo de ciclo de uma peça também seja menor (REED, 1995).

Para peças com espessura acima de 50mm é usada uma pressão em torno de 3 a 4 MPa (Moreno *et al.*, 1997). Para peças grandes e alta produção é utilizada pressão média. Após o processo, as peças são desmoldadas e removidas uma a uma. Em seguida os moldes são imediatamente reutilizados (REED, 1995). Para os casos onde o nível de produção é baixo, há uma limitação de espaço ou necessita-se de uma alternativa de baixo custo, é utilizada pressão baixa entre 0,2 e 6 MPa (ZORZI, 2004).

Na Figura 2 é demonstrado o processo de colagem sob pressão em três etapas (ERGUN, 2004).

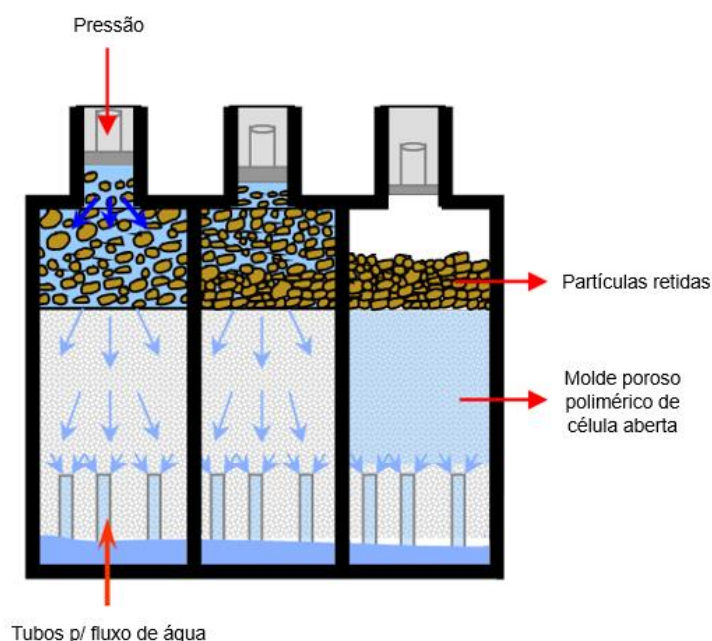


Figura 2 - Processo de colagem sob pressão

Fonte: Adaptado de Ergun (2004).

2.3 Vantagens e desvantagens entre os processos de colagem

Na colagem de barbotina tradicional o tempo de produção de uma peça é alto e há a necessidade de muitos moldes, devido à curta vida útil. Por essa razão, precisa-se de mais espaço físico para o seu armazenamento, além da possibilidade de impactos ambientais com o descarte incorreto. Além disso, os moldes de gesso necessitam de maior manutenção para drenar a água contida. Em contrapartida, o custo dos moldes é baixo e são de fácil usinagem (ERGUN, 2004). Um ponto negativo da colagem de barbotina é a grande necessidade de mão de obra, que é o fator que mais pesa no custo da peça. Segundo Araújo *et al.* (2012), para peças pequenas o custo de mão de obra equivale a ~95% do custo total, enquanto que para peças de tamanho médio o custo de mão de obra direta equivale a ~35% do total.

Já na colagem sob pressão a quantidade de moldes é bem reduzida, pois cada molde bem projetado é adequado para aproximadamente 2.000 ciclos (GALHARDI, 1998). O molde de resina porosa utilizado neste processo é mais caro que o de gesso.

Outro problema é que os moldes são geralmente importados e de uso exclusivo, o que torna a aquisição desnecessariamente mais complicada (ARAÚJO *et al.*, 2012). O tempo de colagem é reduzido em razão do aumento na taxa de filtração sendo que posteriormente a secagem dos moldes não é necessária, economizando espaço físico e mão de obra. As peças produzidas por este método apresentam melhor acabamento superficial, menor retração e maior resistência nos concentradores de tensão. A maior desvantagem é o custo elevado, tanto da máquina quanto dos moldes, mas acabam compensando para volumes de produção mais elevados. A dificuldade de modificação de projetos, por conta do molde, também se torna um empecilho quando comparado à colagem de barbotina tradicional (PALUCH *et al.*, 2016).

2.4 Espuma de resina epóxi

O termo epóxi refere-se a um grupamento químico constituído por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono (VIEIRA, 2006). Como características básicas, as resinas epóxis apresentam baixa viscosidade, alta velocidade de cura, baixa contração durante a cura, alto poder adesivo, boas propriedades mecânicas e elétricas, boa resistência à agentes químicos, à corrosão, à abrasão e ao impacto, além de serem ótimos isolantes. Por conta desses atributos, a resina epóxi é bastante utilizada para a confecção de protótipos, modelos e moldes com rapidez e custo inferior aos moldes metálicos (AUGUSTSSON, 2004).

Para a fabricação de espumas em resina epóxi, um agente espumante se faz necessário. As espumas podem ser reforçadas por cargas minerais e após a reticulação por agentes de cura, formam-se polímeros termorrígidos insolúveis e infusíveis. Para diminuir a tensão superficial da solução e tornar possível a formação da espuma, os agentes surfactantes são utilizados. A seleção deste agente deve depender da eficiência e da sua estabilidade em função do tempo (PALUCH *et al.*, 2016; SALVINI *et al.*, 2006). Os carbonatos, quando utilizados como espumantes, se decompõem ao serem aquecidos e dão origem a óxidos, liberando gás carbônico (MARINO e BOSCHI, 2000).

Com a finalidade de estruturar o molde, facilitar a fabricação, reduzir o custo e melhorar a permeabilidade, utilizam-se cargas como material de enchimento. Elas

podem estar em formatos de grânulos ou fibras. Entre as cargas em pó destacam-se o carbonato de cálcio, aerossil, pó de alumínio, pó de ferro, pó de quartzo, calcita e talco. As partículas maiores utilizadas podem ser de alumínio ou de quartzo. Entre os tecidos, são utilizados tecido de vidro, carbono, carbono mais vidro e Kevlar® (CIMINELLI, 1988).

O agente de cura, conhecido como agente endurecedor, precisa ser selecionado com certo critério para que ele possua um bom controle sobre o grau de reticulação (LEITE, 2009). As aminas alifáticas, como um exemplo de agente de cura, misturam-se facilmente com a resina, além de apresentar cura rápida à temperatura ambiente, baixo custo e viscosidade e boa resistência química. Seus pontos negativos são a alta toxicidade e a relação crítica da mistura com curto tempo de trabalho (PALUCH *et al.*, 2016).

Entre as combinações para a formação da espuma com resina epóxi, a seguinte composição é citada por Aase e Minneapolis (1958):

- 95 partes de resina epóxi;
- 0,1 a 10 partes de agente espumante primário;
- 4,5 a 55 partes de agente espumante secundário;
- 0,01 a 2,5 partes de agente surfactante;
- 2 a 20 partes de agente de cura.

2.5 Escoamento em meio poroso

Segundo Ergun (2004), o desempenho e as propriedades de um material poroso são relacionados ao material do qual é feito, à estrutura geométrica da estrutura das células e à densidade do material final. A característica mais importante de se observar neste tipo de material é a densidade relativa: ρ^*/ρ_s (a razão de densidade da espuma, ρ^* , e a densidade do material da parede porosa, ρ_s).

Os materiais de alta porosidade, também conhecidos como materiais celulares, são utilizados em uma grande variedade de aplicações, como isolamento térmico, dispositivos de absorção de energia, reforços leves, materiais filtrantes, na indústria biomédica, entre outros. Eles são classificados em materiais de célula aberta e célula

fechada. Em espumas de célula fechada, cada célula é completamente envolta por paredes finas, enquanto que em espumas de célula aberta, as células individuais são interconectadas (ERGUN, 2004). Alguns exemplos podem ser observados na Figura 3, onde a) alumínio com estrutura honeycomb, b) espuma de polietileno de célula fechada, c) espuma de níquel de celular aberta, d) espuma de vidro de célula fechada, e) espuma de zircônia de célula aberta e f) arcabouço de colágeno utilizado na engenharia de tecidos (GIBSON e ASHBY, 1999).

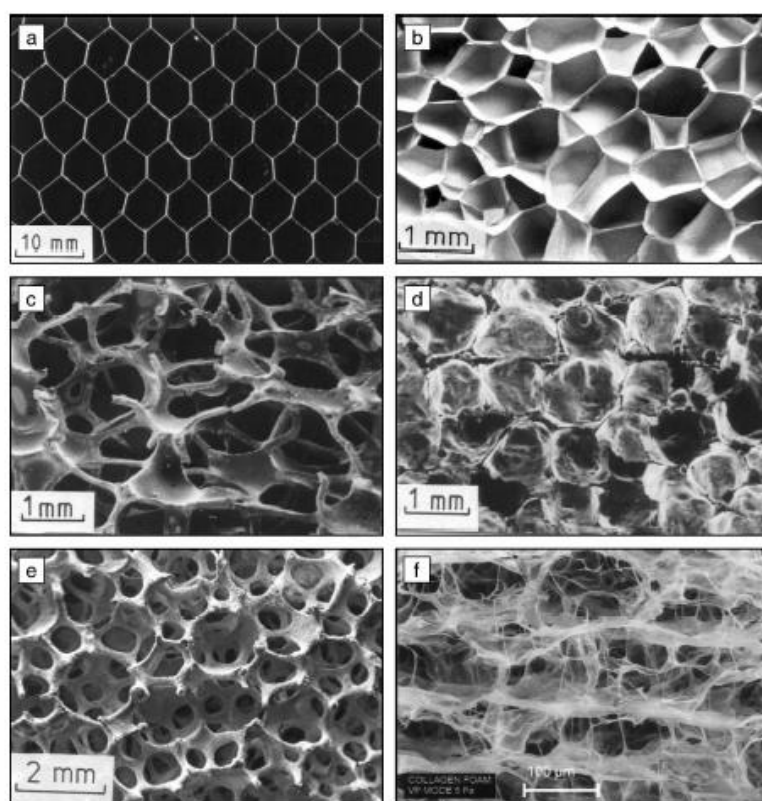


Figura 3 - Materiais porosos manufacturados

Fonte: GIBSON e ASHBY, 1999

Para o processo de colagem sob pressão, o meio poroso precisa apresentar permeabilidade, portanto devem ser utilizadas apenas espumas de célula aberta. A permeabilidade, propriedade de grande importância para o projeto do molde, descreve a facilidade de deslocamento do fluido em meio poroso.

2.6 Fabricação de molde para colagem sob pressão

Os principais estudos utilizados como referência para este trabalho foram desenvolvidos por Galhardi, sendo que o foco está na produção de louça sanitária. Uma das referências é a patente brasileira MU 7501070, em que é descrito o processo de fabricação de molde plástico poroso, para utilização na produção de produtos cerâmicos conformados por colagem sob pressão e moldagem plástica (GALHARDI, 1995). A outra seria a tese do mesmo autor de 1998 focada na colagem sob pressão, no qual apresenta características construtivas para o molde específico deste processo (GALHARDI, 1998).

Para que ocorra a retenção do material sólido nas superfícies do molde, o tamanho dos poros deve ser condizente com o tamanho das partículas sólidas da barbotina. O tempo de ciclo de produção será definido de acordo com a combinação de permeabilidade e pressão aplicada no processo. A velocidade de formação de parede, que com o molde de gesso e baixa pressão era de 0,125 a 0,250 mm/min, passará para 1,5 a 4,0 mm/min com molde de espuma plástica e alta pressão. Portanto há uma grande redução no tempo necessário para a formação da espessura da parede da peça (GALHARDI, 1998).

Embora os moldes sejam comumente reforçados com suportes ou reforços metálicos, o material do molde deve apresentar propriedades mecânicas adequadas para o processo.

Para o escoamento correto da água através do molde, são necessários canais internos ao molde. A construção do molde é facilitada quando a conformação é feita por moldagem a frio, tanto em relação a confecção dos canais internos quanto para se obter uma cópia fiel ao modelo da peça, evitando usinagens desnecessárias. Um ponto importante para o modelo da peça é a previsão das deformações que ocorrem durante a queima (GALHARDI, 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Obtenção da espuma

O processo de fabricação a ser utilizado para o molde necessita de um material líquido o suficiente para ser vertido sobre a matriz, portanto a espuma de resina epóxi a ser utilizada será a mesma que foi testada por Paluch (2016). A resina, de nome comercial D.E.R.TM 324, possui baixa viscosidade e baixa tensão superficial, portanto molha a superfície adequadamente. O agente de cura será o 043. Ambos os componentes são fabricados pela DOW. Os dados do fabricante sobre as densidades e viscosidades são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações sobre a resina epóxi e o agente de cura

Componente	Aspecto	Densidade, 25°C	Viscosidade, 25°C
Resina	Líquido viscoso transparente	1,10 g/ml	600 a 800 cps
Agente de Cura	Líquido amarelado	0,98 g/ml	19,5 a 22,5 cps

Fonte: Dow Química, 2017

A carga mineral adotada é o carbonato de cálcio ultraleve tratado com 8% de estearato de cálcio. No tratamento foi utilizada a proporção de 0,5g de carga para 1 mL de álcool isopropílico, a mistura com agitação foi feita a uma rotação de 200 rpm durante uma hora, com o agitador mecânico da marca Quimis, modelo Q250M1. Posteriormente a filtragem foi feita à vácuo e a carga passou por secagem, em exposição ao ambiente por alguns dias. Quando secou, ela foi finalmente macerada para desaglomerar das partículas.

Para elaborar as emulsões foram utilizados água deionizada, glicerina bidestilada e Tween 80. A sua formulação é de 75% água e 25% óleo (glicerina). O volume de surfactante (Tween 80) adicionado equivale a 7,5% do volume da mistura água e óleo.

Todos os processos de mistura e agitação a seguir foram feitos com o agitador citado anteriormente de modelo Q250M1, com rotação de 1000 rpm. Primeiro mistura-se todos os componentes da emulsão até que o líquido acumulado ao fundo do recipiente desapareça e se forme uma espuma. O próximo passo é a homogeneização da mistura de resina epóxi e agente de cura, misturando-os por dois minutos. Após a

homogeneização, eles são adicionados junto a emulsão. Ao final, adiciona-se a carga de carbonato de cálcio, já tratada com estearato de cálcio, até que ela esteja igualmente distribuída. Esta é a espuma em estado líquido que será vertida para a fabricação da cavidade da peça no molde e dos corpos de prova. As três composições de espuma a serem testadas são demonstradas na Tabela 2 (PALUCH *et al.*, 2016).

Tabela 2 - Composições para a elaboração das espumas

Espuma	Relação Volumétrica (partes)		Partes Mássicas					
	Resina + Agente de cura	Água + Óleo + Tween	Resina	Carga	Agente	Tween 80	Óleo	Água
1	1,00	0,60	100	90	40	5,71	22,41	53,35
2	1,00	0,70	100	90	40	6,66	26,14	62,24
3	1,00	0,75	100	90	40	7,01	27,51	65,50

Fonte: Paluch *et al.*, 2016.

3.2 Obtenção dos corpos de prova

Para possibilitar a confecção de corpos de prova para o teste de permeabilidade e de compressão, primeiramente é necessário um molde de silicone com as dimensões desejadas. Visto que o corpo de prova a ser utilizado no primeiro teste possui 10 mm de altura e 84 mm de diâmetro, precisa-se de um modelo com estas características para a criação do molde. O modelo, em nylon, é colado sobre uma lâmina de vidro e posteriormente envolto por um cano de PVC. Em seguida é passada glicerina como desmoldante no conjunto todo e fecha-se as laterais externas inferiores do cano com massa de modelar para evitar vazamentos. O conjunto e o molde final podem ser visualizados na Figura 4.



Figura 4 - Conjunto para moldagem e molde de silicone

Fonte: Autoria própria.¹

¹ Ilustrações e tabelas sem indicação de fonte são de autoria própria.

Com o conjunto pronto, resta preparar a mistura de silicone azul e catalisador em uma proporção de 1 gota de catalisador para cada 1 grama de silicone e, em seguida, verter dentro do cano até que se atinja o dobro da altura do modelo. Em 24 horas o molde estará pronto para ser usado. O processo é o mesmo para corpos de prova de compressão, apenas alteram-se as dimensões do modelo para 30 mm de altura e 60 mm de diâmetro, assim como os materiais a serem vertidos.

Foram feitos 3 corpos de prova de permeabilidade de cada vez para cada composição a ser testada. Então misturou-se os componentes da espuma conforme o procedimento apresentado no tópico 3.1 e em seguida a mistura homogênea foi vertida para dentro dos moldes de silicone. No caso das amostras para ensaio de compressão foram 3 camadas de resina com composição e espessura indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Camadas para o corpo de prova de compressão

Camada	Função	Resina (% mássica)	Carga (% mássica)	Endurecedor (% mássica)	Espessura aproximada
1	Acabamento externo	SW-404 (90%)	-	HY-404 (10%)	1 mm
2	Cavidade da peça	(Composição da espuma apresentada no tópico 3.1)			15 mm
3	Resistência mecânica	RenLam M (35%)	Quartzo fino (61%)	HY-956 (4%)	14 mm

Esperou-se até cada camada atingir o ponto de gel antes de verter a seguinte. As proporções de espessuras destas camadas foram mantidas as mesmas em relação ao molde de colagem de barbotina sob pressão desenvolvido. Finalizado o processo, o molde de silicone pôde então ser colocado em uma estufa para curar durante 7 dias à 30 °C, até que a peça ficasse rígida o suficiente para ser desmoldada. Com a cura finalizada, foi necessário ainda lixar a superfície de ambos os tipos de corpos de prova. Os corpos de prova finalizados podem ser vistos na Figura 5.



Figura 5 - Corpos de prova de permeabilidade (esquerda) e compressão (direita)

3.3 Análise das amostras

Com o objetivo de utilizar o melhor material em relação à permeabilidade e formação de parede para o processo de colagem de barbotina sob pressão, as amostras foram testadas utilizando o aparato visto na Figura 6. Este aparato foi desenvolvido por Lirman (2012) e está em processo de melhoria por Rafael Sugamoto Romfeld.



Figura 6 - Aparato para medição de permeabilidade e formação de parede

O corpo de prova é posicionado no porta-amostra central. A peça superior possui conexão para a saída do compressor, para pressurização, e a peça inferior possui uma saída livre para a coleta da água. Com este conjunto é possível encontrar a vazão de água que atravessa o corpo de prova, medindo o tempo e a massa de água coletada. O dispositivo apresentou problemas em relação à vazamentos, portanto ele não poderá ser usado para o teste. Para que se pudesse definir uma composição a ser utilizada na fabricação do molde, foi realizada a análise tátil-visual, comparando a porosidade e a resistência das amostras.

3.4 Fixação e teste do molde na máquina protótipo

O molde, após fabricado, foi testado utilizando a máquina protótipo desenvolvida na UTFPR pelo mesmo grupo da pesquisa do Núcleo de Pesquisas Tecnológicas (NPT) com a ajuda de um convênio da FUNTEF, FINEP e SEBRAE. Essa máquina foi

pensada com o objetivo de fornecer uma alternativa aos elevados custos das máquinas importadas que são ofertadas para a colagem sob pressão de peças de louça de mesa.

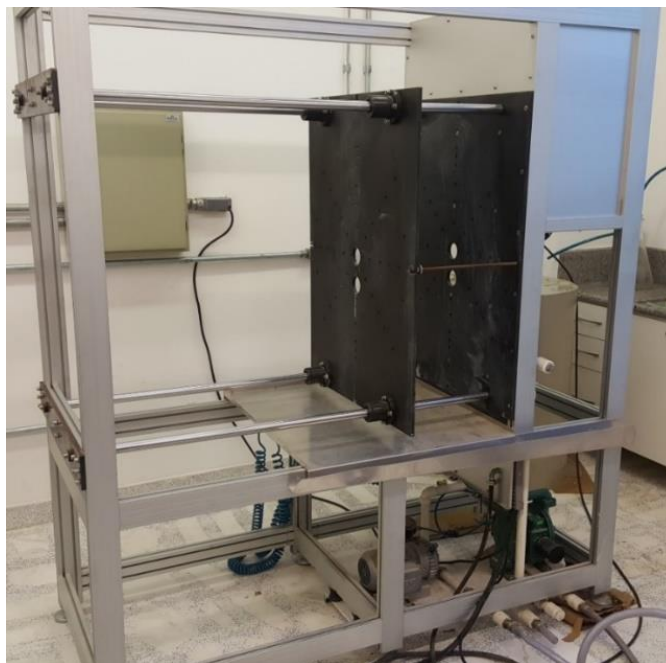


Figura 7 - Máquina protótipo de colagem sob pressão

A máquina pode ser visualizada na Figura 7. O painel de comando da máquina de colagem sob pressão e o tanque misturador contendo a barbotina podem ser vistos na Figura 8.



Figura 8 - Painel de comando da máquina e tanque misturador de barbotina

A fixação do molde na máquina é feita através do painel de furações padrões e laxes de fixação, ambos representados na Figura 9.



Figura 9 - Placa de fixação e laxa de fixação

Os furos na placa são distribuídos radialmente em ângulos de 45° e possuem espaçamento de aproximadamente 60 mm entre cada raio. A abertura central é onde deve ser posicionada a entrada do canal de barbotina e ela possui 60 mm de diâmetro. Quando em funcionamento, a mangueira flexível se mantém atrás da placa conectada ao molde através da abertura. Com o molde fixado adequadamente, o fechamento do lado oposto foi realizado utilizando uma chapa de acrílico para possibilitar a visualização da barbotina entrando nas cavidades.

Para se aferir a massa total do molde, e fornecer dados a respeito da facilidade de manuseá-lo durante o processo de fixação à máquina de colagem sob pressão, foi utilizada uma balança Digimed KN 15. Esta balança é utilizada para medições entre 5 g e 15 kg, portanto é adequada nesta situação.

3.5 Ensaio de resistência à compressão

Para obter um indicador do desempenho do molde em relação à sua resistência compressiva, foram realizados ensaios em uma máquina DL-5000/10000 da EMIC, de 100 kN. Os softwares utilizados para a obtenção de dados e a geração de gráficos foram respectivamente o Tesc e o Microsoft Office Excel.

A célula de carga utilizada foi de 100.000 N com uma taxa de deslocamento de cabeçote de 2,5 mm/min. Os critérios de parada para o ensaio foram os seguintes: deformação máxima de 20 mm ou força máxima de 90.000 N. Como referência, a

deformação foi comparada à uma tensão de 0,7 MPa, pois essa é a pressão de trabalho da máquina protótipo em que o molde será testado.

4 PROJETO E CONFECÇÃO DO MOLDE

4.1 Projeto do molde

Antes de se executar qualquer procedimento de construção, é necessário primeiramente definir o formato da peça para qual será feito o molde. Neste trabalho optou-se por fabricar um corpo de prova de flexão, para que as propriedades do produto possam ser posteriormente medidas. As dimensões adotadas foram as seguintes: comprimento de 70 mm, largura de 20 mm e espessura de 8,4 mm.

Como é uma peça pequena, optou-se pela fabricação de 4 peças por molde, principalmente em razão da pressão que será aplicada em um volume relativamente pequeno e da redução do tempo de fabricação. A disposição foi feita em formato de cruz e as cavidades que formarão as peças foram unidas com canais de aproximadamente 10mm de diâmetro para o escoamento da suspensão. Para a fixação do molde na máquina, foram necessárias abas nas laterais do molde de aproximadamente 36 mm de comprimento. O molde possui um tamanho de 210 mm de comprimento e largura, sem acrescentar a aba. Sua representação pode ser vista na Figura 10.

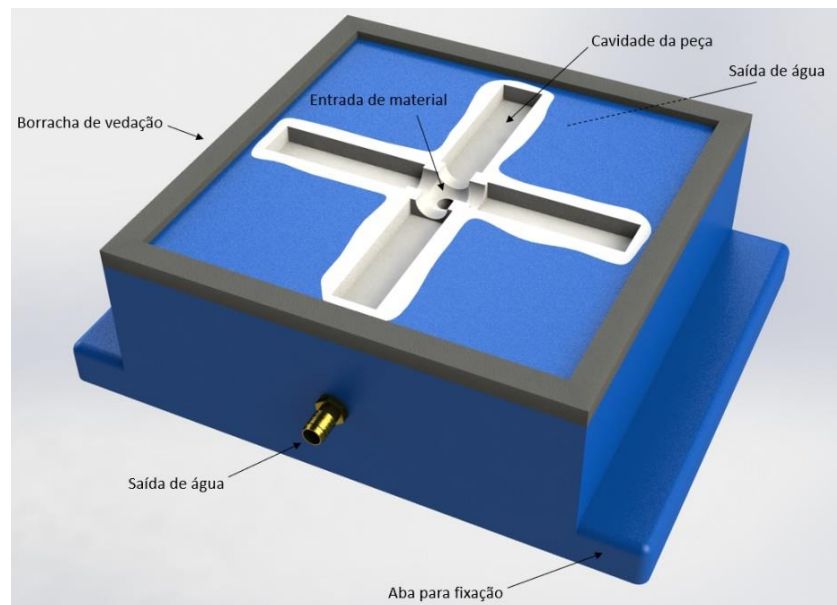


Figura 10 - Modelo representativo do molde

Para o escoamento da água através do molde, foram feitos canais internos tanto na vertical como na horizontal, semelhante ao projeto desenvolvido por Galhardi (1998). Os canais verticais têm 6,35 mm (1/4") de diâmetro e são espaçados de 15 mm no sentido da saída de água e espaçados 40 mm no sentido perpendicular à saída de água. Esta desigualdade possibilita analisar a influência da densidade de canais na formação da peça. Já os canais horizontais têm 16,4 mm de diâmetro e espaçamento de 40 mm também. O sistema de canais internos pode ser visualizado na Figura 11.

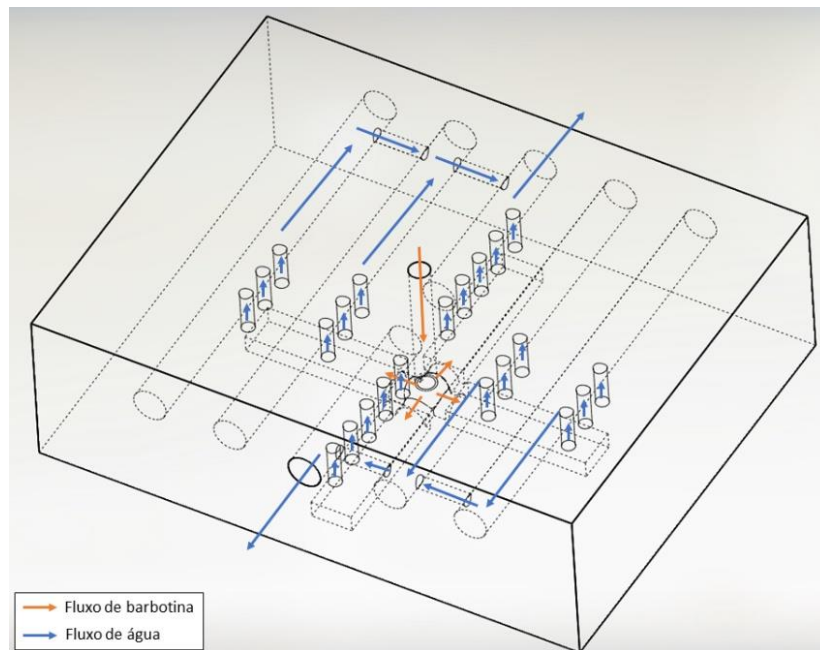


Figura 11 - Esquema simplificado dos canais internos

Para definir a composição de espuma que foi utilizada, a análise tátil-visual foi feita. Verificando as características das diferentes amostras de espuma entre si, percebeu-se que as amostras de 0,6 partes por volume de emulsão não aparentam ter porosidade adequada, pois após lixada a superfície ela ainda se apresentou quase completamente fechada e com ausência de poros. Já a composição de 0,75 partes por volume de emulsão apresentou muito mais porosidade que a de 0,6, mas necessitou de consideravelmente mais tempo de cura, ao final apresentando uma rigidez bem menor. Por conta destas características, a composição de 0,7 partes por volume de emulsão foi escolhida como material para o molde. Ela demonstrou possuir a combinação mais adequada entre porosidade, tempo de cura e rigidez.

4.1.1 Camadas do molde

O molde possui camadas de diferentes composições de materiais, conceito baseado no artigo de Freitas *et al.* (2012). São 3 camadas de resina epóxi, cada uma com materiais de diferentes propriedades.

Tabela 4 – Composições das camadas do molde.

Camada	Função	Resina (% mássica)	Carga (% mássica)	Endurecedor (% mássica)	Espessura aproximada
1	Acabamento externo	SW-404 (90%)	-	HY-404 (10%)	2 mm
2	Cavidade da peça	(Composição da espuma apresentada no tópico 3.1)			40 mm
3	Resistência mecânica	RenLam M (35%)	Quartzo fino (61%)	HY-956 (4%)	35 mm

Fonte: Adaptado de Freitas *et al.* (2012)

As camadas são apresentadas na Tabela 4. A primeira camada, indicada na Figura 12, é a camada externa ao molde que foi composta da resina RenGel SW 404 em conjunto com o endurecedor Ren HY 404, ambos fabricados pela HUNTSMAN. Para obter uma viscosidade que possibilite a aplicação da resina com o uso de um pincel, foi adicionada uma pequena quantidade de água. Esse sistema epóxi possui excelente resistência à abrasão e é bastante utilizado como camada de superfície em diferentes aplicações (HUNTSMAN, 2010). A camada 2 foi confeccionada com a espuma de resina epóxi D.E.R.TM 324 e agente de cura 043 com 0,7 partes por volume de emulsão, testada por Paluch *et al.* (2016). A última camada foi composta pela resina RenLam M e o endurecedor HY-956 com adição de quartzo fino como carga mineral, para se obter uma melhor resistência da camada superior do molde.

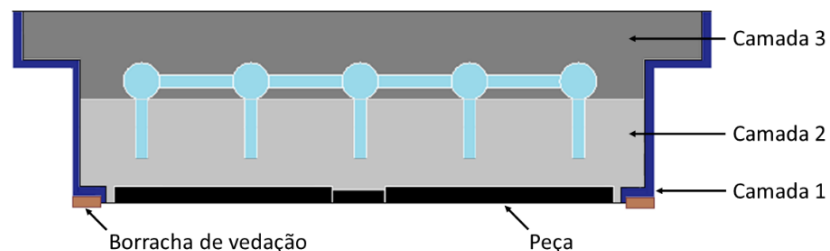


Figura 12 - Camadas do molde

4.2 Confeção do molde

Para a construção do molde, primeiramente é necessário preparar os tubos rígidos de PVC e varetas de alumínio que foram utilizados para modelar os canais internos de escoamento da água, baseando-se em Galhardi (1998). Foram necessárias 23 barras redondas de alumínio com diâmetro de 6,35 mm (1/4") e 250 mm de comprimento, além de mais 2 com comprimentos de 500 mm. Também foi necessário 4 tubos de PVC com diâmetro externo de 20,8 mm e comprimento de 365 mm e 2 tubos com 240 mm de comprimento, neste caso foram utilizados eletrodutos de 1/2" com estas características.

Os tubos de PVC são furados de acordo com o desenho na Figura 13. Quatro dos tubos possuem 3 furos e os dois restantes possuem 5 furos cada um. Eles foram vedados em uma das extremidades, para que a resina não entrasse no tubo ao ser vertida. A extremidade livre ficou externa ao molde e, portanto, não necessitou de vedação.

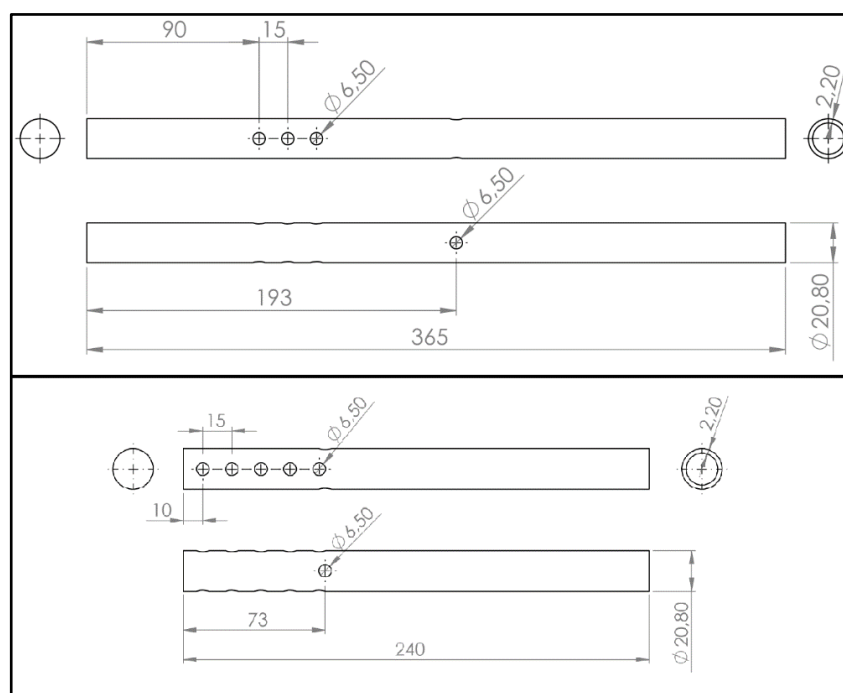


Figura 13 - Esquema de furação dos tubos de PVC

Foi utilizada uma superfície plana como base e peças de madeira, com dimensões e furações indicadas na Figura 14, como laterais ao moldar as resinas e suportar os tubos e varetas. Dois blocos de madeira de 210 mm de comprimento, 40

mm de largura e 36 mm de espessura foram necessários para atuar como modelo para as abas de fixação do molde. Em todos os componentes de madeira foram coladas fitas adesivas em toda a superfície para torná-los menos aderentes à resina e possibilitar a desmoldagem.

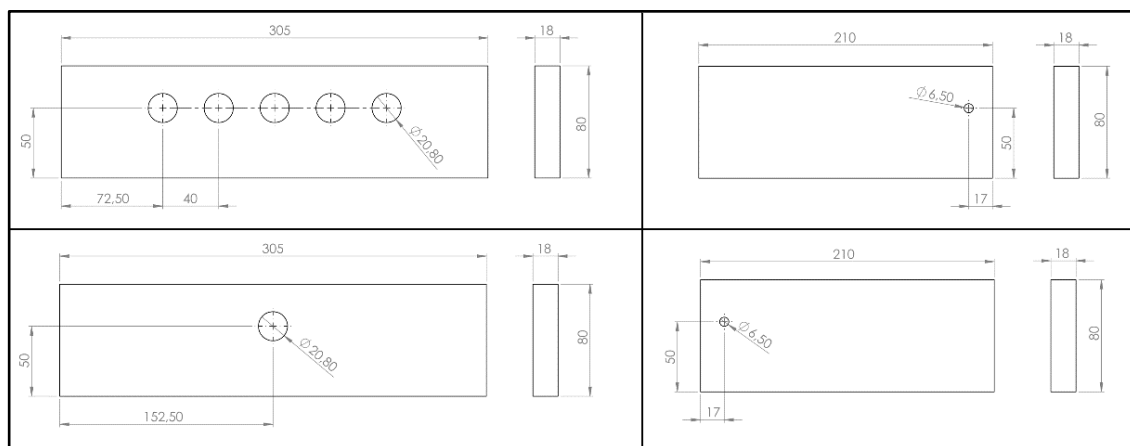


Figura 14 - Desenho das laterais de madeira

Os modelos das cavidades que formam a peça são de nylon e possuem as dimensões de 70 mm de comprimento, 20 mm de largura e 8,4 mm de espessura, como explicado no tópico 4.1. Os canais intermediários para a barbotina foram confeccionados com massa de modelar e uma barra redonda de 5/16" de diâmetro. Como vedação, foi utilizada uma tira de borracha com seção de 10 mm por 6 mm, portanto foi preparado um modelo para formar um ressalto na superfície do molde no qual a borracha foi fixada, ele é feito com algumas camadas de papelão sobrepostas e possui seção de 12 mm por 3 mm.

Iniciou-se então, a montagem da caixa com os componentes citados anteriormente, com exceção do sistema de tubos e varetas que foi montado em outra etapa. As laterais de madeira foram fixadas utilizando sargentos e para evitar vazamentos de resina, pequenas quantidades de massa de modelar foram utilizadas nas interfaces madeira-madeira. As peças centrais são coladas na superfície utilizando supercola e em seguida, realizou-se a limpeza de todas as superfícies que entrariam em contato com a resina e logo após, foram passadas duas camadas do desmoldante RenLease QZ-5100 na superfície e em todos os componentes que não fariam parte do molde quando ele estiver finalizado. Após a secagem do desmoldante,

as diferentes camadas podem ser aplicadas. O conjunto montado pode ser visualizado na Figura 15.



Figura 15 - Conjunto de modelos e caixa

A fabricação inicia-se pela confecção e aplicação da camada 1, que atua como superfície externa em razão das boas propriedades mecânicas. Ela é aplicada com o auxílio de um pincel em toda a superfície, com exceção do modelo da cavidade. A espessura dessa camada é pequena, em torno de 2 mm. Deve-se manter uma distância apropriada do modelo, pois nele será aplicada a camada 2, possibilitando o escoamento de água através dos poros. Neste ponto é necessário esperar para que a camada 1 aumente consideravelmente a sua viscosidade, ou seja, que ela atinja o ponto de gel antes de começar a aplicar a próxima camada que formará a cavidade do molde. Como o tempo de cura neste caso é consideravelmente rápido, enquanto se espera, pode ser iniciado o processo de obtenção da espuma (camada 2), misturando seus componentes. A Figura 16 ilustra o estado final da primeira camada.



Figura 16 - Camada 1 após a aplicação

Seguiu-se, então, a aplicação da segunda camada em toda a região central do molde. Essa camada tem em torno de 40 mm de espessura, atingindo um pouco abaixo dos tubos de PVC. A montagem dos modelos dos canais de escoamento da água é feita depois de vertida a espuma em seu estado líquido, pois com os tubos e varetas sobraria menos espaço para a devida aplicação e nivelamento da resina. Na Figura 17 pode ser visualizado o nível da espuma após ser vertida em relação aos tubos.



Figura 17 - Camada 2 após aplicação, já com tubos introduzidos

Para a fixação das varetas de alumínio com a altura adequada, foram utilizados suportes de madeira previamente furados com o mesmo padrão de furação encontrado nos tubos de PVC, assim como abraçadeiras de nylon. Ambos podem ser vistos na Figura 18.

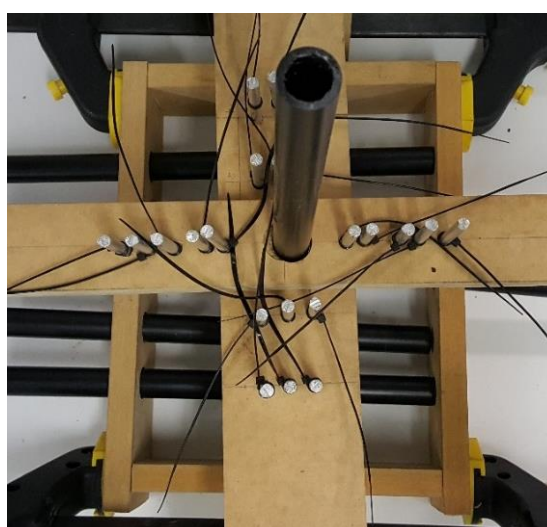


Figura 18 - Sistema de suporte e posicionamento das barras verticais

Os furos foram usados para fixar a posição nos eixos paralelos à superfície do molde (posicionamento lateral) e as abraçadeiras definem a posição em relação ao eixo perpendicular à superfície (altura). Antes de passar as varetas pelos furos, aplicou-se desmoldante para que elas fossem removidas posteriormente. Os tubos de PVC são encaixados nos furos da caixa horizontalmente e as barras de alumínio são passadas pelos furos dos tubos de PVC para ficar em posição vertical em relação ao molde. Adicionalmente às barras verticais, duas varetas horizontais foram inseridas atravessando três tubos cada uma para possibilitar a comunicação entre eles após a remoção, assim como auxiliar no apoio da extremidade oposta dos tubos (para não ficarem inclinados). Para o espaçamento adequado entre o modelo da cavidade e os canais verticais, as varetas verticais foram abaixadas até encostarem na superfície inferior. Em seguida elas foram elevadas aproximadamente 15 mm para serem fixadas com as abraçadeiras nesta posição.



Figura 19 – Montagem do sistema de varetas verticais

A Figura 19 ilustra a situação nesta etapa. Novamente foi preciso esperar até que a resina atingisse o ponto de gel, para iniciar a próxima camada. Como a espuma tem um tempo de cura maior, foi necessário esperar em torno de 10 horas à temperatura ambiente antes de verter a terceira camada. Atingindo o ponto de gel, pode-se iniciar o preparo da terceira e última camada. Assim que devidamente misturada, ela pôde ser vertida, de maneira a encobrir toda a estrutura interna da caixa. Neste momento foi preciso cuidado para fazer a distribuição adequadamente para que o nivelamento fosse satisfatório, assim como evitar bolhas. Com a camada

finalizada, restou esperar até que o sistema esteja curado para desmoldá-lo. A camada 3 pode ser visualizada na Figura 20.



Figura 20 – Camada 3 após aplicação

Decorridos aproximadamente 3 dias, alguns componentes puderam ser retirados. É o caso das laterais de madeira, das varetas de alumínio e da barra central que deram forma ao canal de entrada de barbotina. Neste ponto ainda se mantém a superfície inferior do molde fechada e sem desmoldar, pois existia a possibilidade de acumular água nas camadas inferiores devido à gravidade, o que poderia ocasionar em um aumento no tempo de cura. Foi necessário garantir que a cavidade da peça estivesse rígida.

Prosseguiu-se com as operações possíveis: a vedação dos canais verticais que afloram na superfície e o corte dos tubos de PVC que sobraram para fora do molde, com posterior fixação das conexões necessárias para o sistema de água e barbotina. A vedação dos canais foi feita inserindo pedaços previamente cortados de aproximadamente 10 mm de comprimento da barra de alumínio de ¼" de diâmetro e, em seguida, cobrindo-o com o mesmo material da camada 3. Após eliminar as extremidades dos tubos de PVC, foi possível conectar adaptadores de engate rápido nas saídas centrais e vedar as saídas dos tubos laterais, como na Figura 21.

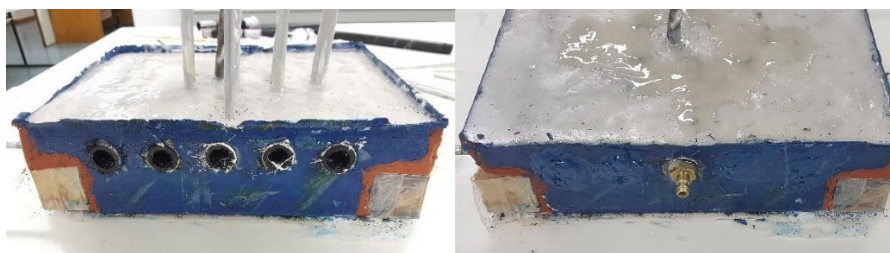


Figura 21 – Antes e depois das operações finais nos tubos de PVC

Para possibilitar a entrada de barbotina no molde com a remoção da barra central, a superfície em volta do canal foi desgastada de modo a introduzir a conexão com rosca interna de $\frac{1}{2}$ ". Assim que ela foi posicionada adequadamente, o material da camada 3 foi utilizado novamente para fechar os espaços indesejados que foram deixados.

Para finalizar o molde, após a cura completa ele pôde ser completamente desmoldado e então foram coladas 4 tiras de borracha citadas no tópico 4.2. Suas extremidades são cortadas em ângulo de 45° para a junção de todas em formato de um quadrado. Em seguida elas devem ser posicionadas e coladas com cola de contato nos rebaxos resultantes próximos às extremidades.

A superfície da cavidade da peça neste ponto não apresenta poros devido à interface que se formou entre o modelo e o restante da espuma, portanto é realizado o lixamento desta superfície até que os poros se tornassem visíveis e funcionais. Para certificar-se disso pode ser utilizado um compressor para injetar ar através dos canais de saída de água. Ao verificar a comunicação entre os canais de água e a superfície da cavidade, pôde-se determinar se o molde foi concluído com sucesso. O molde finalizado pode ser visualizado na Figura 22.



Figura 22 - Molde finalizado

5 ANÁLISE DO MOLDE E DA SUA CONFECÇÃO

É inerente ao processo de desenvolvimento de produtos, a possibilidade de se necessitar adaptar ou modificar o protótipo. Afinal, esta é a sua função, servir como um exemplo para a verificação de erros que passaram despercebidos na concepção do projeto. O molde desenvolvido neste trabalho, como um protótipo, auxiliou no melhor entendimento das limitações e do comportamento tanto dos materiais, quanto da construção do molde em si, assim como dos parâmetros trabalhados (composição de materiais, espaçamento entre canais, espessura de camadas, entre outros).

5.1 Comparação entre o projeto e o molde final

Ao longo do processo de fabricação do molde, foram encontrados certos obstáculos, alguns em função de erro no projeto e outros relacionados a problemas nos procedimentos, seja na sequência ou na maneira como foram trabalhados. Além destas duas distinções, há também outra classificação: os erros que podem ser corrigidos posteriormente à confecção do molde e erros que apenas seriam resolvidos na montagem de um novo molde. A discussão da causa e da solução destes problemas é importante, uma vez que a documentação obtida pode ser utilizada como referência para trabalhos futuros.



Figura 23 - Molde finalizado com todas as correções necessárias

O molde finalizado necessitou de certas correções para que pudesse ser utilizado, ele é apresentado com todas as correções na Figura 23. Os pontos em que

ele difere do projeto inicial serão destacados para posterior análise. Primeiramente, há uma saída de água para cada tubo interno de PVC no lugar de apenas uma saída central de cada lado do molde, a ligação no final foi feita externamente conectando todas as 6 saídas em apenas uma. Em segundo lugar, a parte central do molde, que contém as cavidades, foi deslocada involuntariamente durante a sua confecção e por isso houve a redução no comprimento de uma das cavidades da peça. As alterações posteriores à fabricação para correção de erros são explicadas detalhadamente a seguir.

5.1.1 Sugestões de melhorias de projeto

Um dos maiores e mais importantes requisitos no projeto de um molde é a tolerância em relação à peça que será moldada na cavidade. Ao início do projeto não foi considerada como relevante a espessura da espuma que teria que ser lixada na superfície da cavidade para se obter um meio poroso. Como as peças produzidas são normalmente decorativas ou não necessitam de tolerâncias muito apertadas, este não é um grande problema. É provável que essa quantidade de material a ser removido varie dependendo da superfície do modelo utilizado. Portanto, o correto seria promover um teste para comparar as dimensões da cavidade antes e depois do lixamento e assim, adaptar as dimensões do modelo utilizado de acordo. Outra opção seria sempre utilizar um modelo ligeiramente menor e usinar a cavidade de acordo com as dimensões requeridas, porém no caso de peças de geometria complexa, no qual a colagem é bastante utilizada, este método não seria viável.

O molde é constituído de um canal de alimentação, que leva a barbotina para os canais de distribuição primária. Os canais de distribuição primária, que distribuem a barbotina para o interior das cavidades, são um dos pontos a se melhorar em relação ao projeto desenvolvido. Primeiramente, foi encontrada certa dificuldade em modelar estes canais, visto que o espaço deixado no centro das cavidades ficou excessivamente pequeno. Em segundo lugar, a seção transversal desses canais ficou grande o suficiente para que, ao desmoldar esta superfície, as paredes fossem quase completamente destruídas, devido à proximidade das entradas das cavidades. Assim é como se fosse formado apenas uma peça em formato de cruz, em vez de quatro paralelepípedos.



Figura 24 – Paredes próximas as entradas das cavidades danificadas

A situação das divisórias pode ser visualizada na Figura 24. Tanto o modelo para os canais de distribuição primária quanto o tamanho da seção transversal do canal poderiam ser corrigidos em um novo molde, utilizando a manufatura aditiva para a confecção do modelo da peça e dos canais junto ou separados. Além de ser um processo rápido e barato, ele também possibilita a criação de seções de diâmetros menores e iguais com maior facilidade quando comparado com a modelagem manual.

A última melhoria no projeto seria deixar de incluir água na composição da camada 1. Apesar desta adição ajudar durante o processo de fabricação diminuindo a viscosidade da resina, ela também fez com que essa camada apresentasse propriedades não satisfatórias em relação à rigidez e ao tempo de cura. Ambos foram significativamente diminuídos.

A Figura 25 demonstra uma das paredes do molde após a desmoldagem da lateral de madeira. Nota-se que a camada 1 (azul) não suportou o esforço durante a desmoldagem e provavelmente ainda não estava completamente curada.



Figura 25 - Camada 1 destruída durante a desmoldagem

Para corrigir este defeito foi realizada mais uma mistura com os materiais da camada 1, mas desta vez sem a adição de água. Em seguida o material foi espalhado por cima da abertura sem o uso do pincel, pois a viscosidade é muito elevada para isso. Após a correção, esta superfície do molde pode ser vista na Figura 26.

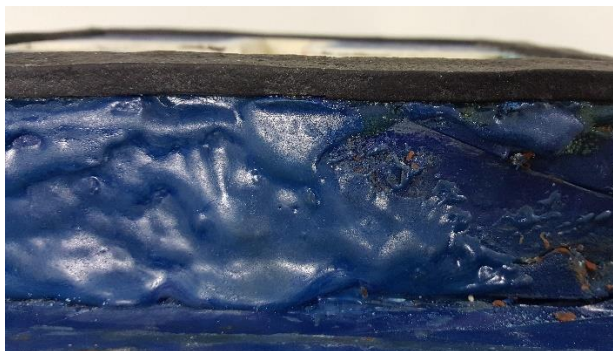


Figura 26 - Camada 1 com falha de desmoldagem corrigida

5.1.2 Sugestões de melhorias no processo de construção

É possível que a causa do último problema citado seja também a falta de uma quantidade suficiente de desmoldante, mas neste caso é pouco provável devido ao local da ruptura. Por ser uma superfície plana, a aplicação de 2 camadas de desmoldante, como o fabricante indica, é fácil de ser realizada e garantida. A situação é diferente, porém, se a análise for feita na geometria dos modelos utilizados para formar as cavidades do molde. Eles apresentam cantos e não há muito espaço para manuseá-los após a fixação na superfície com supercola. Na Figura 27, nota-se que provavelmente nesta parte do modelo faltou desmoldante e por isso a superfície ficou danificada ao separá-la da base na desmoldagem.



Figura 27 - Defeito na superfície do molde

A aplicação do desmoldante em ambos os casos foi feita com um pano. Para poder alcançar espaços mais difíceis, a solução neste caso pode ser a utilização de um pincel, além de se certificar com mais atenção de que todas as superfícies foram cobertas pelo menos duas vezes.

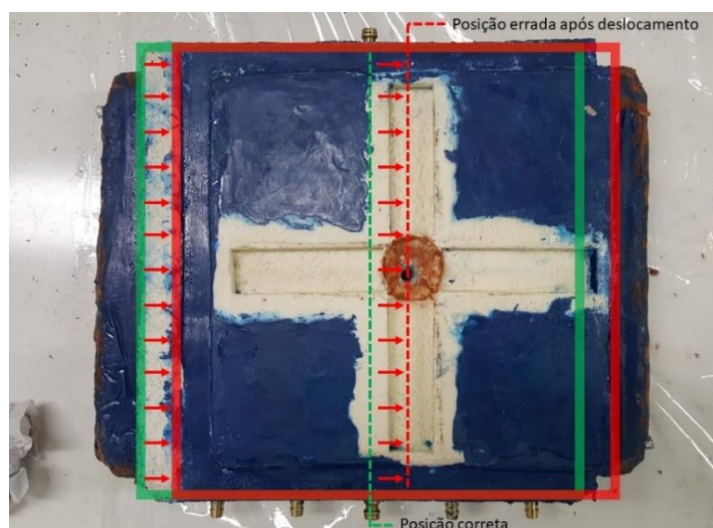


Figura 28 - Deslocamento sofrido na parte inferior do molde

Uma das alterações mais significativas a ser considerada é a facilitação do encaixe das varetas horizontais, seja melhorando o paralelismo dos furos ou aumentando seu diâmetro levemente. A falta desta etapa prejudicou a integridade final do molde. Na Figura 28 pode ser observado um deslocamento da face inferior do molde. Este deslocamento ocorreu por conta da força exercida lateralmente à parede de madeira do molde durante a inserção de uma das varetas horizontais que atravessa 3 dos tubos de PVC. Pelo fato de os blocos de madeira não serem fixados à superfície, eles acabaram deslizando por cima do modelo da borracha de vedação. Isso fez com que o lado esquerdo da face do molde na Figura 28 ficasse sem a proteção da camada 1 e o lado direito sem um apoio abaixo da superfície da camada 1.

Para corrigir este problema, após a desmoldagem foi aplicada a camada 1 novamente por cima da face de espuma exposta. O lado oposto que estava sem suporte foi removido e para manter a funcionalidade do molde, a parte que estava aberta da cavidade à direita foi preenchida com o mesmo material da camada 3 e recoberta com a camada 1 novamente. Uma das falhas que será irreversível nesta

situação é o desalinhamento dos canais centrais para escoamento da água, que anteriormente estavam perfeitamente sobre as cavidades. Para avaliar se o alcance dos canais era suficiente após o deslocamento, foi injetado ar em cada uma das entradas utilizando um compressor. Mantendo a mão por cima das cavidades centrais é possível sentir o ar saindo pelos poros, portanto a eficiência dos canais centrais não foi comprometida 100%.

Na etapa de fabricação na qual a camada 2 é vertida, percebe-se que a escolha de realizar a montagem posterior da estrutura de canais internos foi errônea. O material se nivelaria de maneira adequada com ou sem os tubos de PVC no caminho e a inserção e fixação das varetas, tanto verticais como horizontais, foi prejudicada por não haver visão do furo inferior nos tubos de PVC, pois a espuma embaixo dos tubos bloqueava a luz. Contudo, apesar de ter sido dificultada, a montagem se deu corretamente com exceção de uma vareta que não atingiu a altura adequada. Para uma construção futura, recomenda-se montar a estrutura antes de verter a camada 2, para se ter visão de todos os encaixes. Com isso, altera-se apenas a sequência das operações.

Outra etapa que deve ter a sua sequência alterada é a remoção das varetas horizontais que atravessam metade do molde e fazem a comunicação para o escoamento de água entre os tubos de PVC. Devido ao fato de que essas varetas possuem um comprimento interno ao molde de no mínimo 2 a 3 vezes o comprimento interno das varetas verticais, a remoção delas após a cura total do molde foi impossibilitada, pelo menos utilizando-se de força humana. Outra razão que faz com que aumente a aderência destas barras horizontais ao molde em relação às verticais é que elas estão completamente envoltas pela camada 3, de maior resistência. Enquanto as barras verticais também penetram a camada 2, além de um espaço sem nenhum material dentro dos tubos de PVC. Na tentativa de facilitar a remoção destas varetas, um pequeno volume em volta delas foi usinado, infelizmente em vão.

Para a correção deste problema em uma versão futura do molde, pode-se iniciar a remoção das varetas horizontais antes da cura total da camada 3. Porém, é necessário que ela esteja rígida o suficiente para não colapsar sobre o canal que será criado após a remoção. Como não há a alternativa de fabricar outro molde neste momento, é necessária uma aproximação diferente à correção da falha.

Visto que a funcionalidade das barras horizontais foi descartada, pode-se então cortar as suas extremidades exteriores ao molde, ficando como na Figura 29. Por possuir um diâmetro fino, a sua existência interna e transversal aos tubos de PVC não ocasionará problemas no fluxo da água.



Figura 29 - Vareta horizontal após ser cortada

Com o objetivo de interligar os 6 tubos de PVC, foi pensada, então, em uma solução externa ao molde, já que uma alteração interna neste ponto seria impossível. Portanto a vedação que havia sido realizada nos tubos laterais foi retirada e nas extremidades abertas foram conectados espigões machos para mangueiras de $\frac{1}{4}$ " para posterior conexão em um coletor a ser fabricado que unirá o fluxo de todos os 6 tubos. A Figura 30 ilustra o molde após a instalação das novas conexões. Em seguida, as conexões de engate rápido dos tubos centrais também devem ser substituídas por espigões.



Figura 30 - Espigões instalados para a correção da falha

5.2 Análise do peso do molde

Como o molde deve ser elevado e fixado manualmente na máquina protótipo de colagem sob pressão, conforme citado no tópico 3.4, ele não pode ser muito pesado. Portanto, o molde finalizado foi pesado para se obter um dado para comparação. Com uma massa de aproximadamente 4,84 kg, ele traz algumas dificuldades ao fixá-lo sem a ajuda de outra pessoa, pois segurá-lo com uma mão enquanto se aperta os parafusos com a outra, além de perigoso, também é trabalhoso. Contudo, a fixação ainda é possível de ser feita sozinho, ainda mais ao se estabelecer apoios para o molde na malha de fixação antes de elevá-lo. O molde após ser fixado pode ser visualizado na Figura 31.



Figura 31 - Molde fixado na máquina protótipo

A redução do peso pode ser realizada alterando o projeto. A maneira mais eficaz e simples seria a diminuição dos diâmetros dos tubos de PVC e da altura e largura das abas de fixação, o que conseqüentemente reduziria a profundidade do molde, assim como o peso. O aumento do número de canais internos para escoamento da água também auxiliaria na redução do peso, apesar de diminuir, também, a resistência do molde. Visto que o molde produzido é apenas um protótipo para testes e que na linha de produção a possibilidade de assistência de equipamentos para o manuseio e fixação do molde é bastante grande, o peso apresentado é viável.

5.3 Análise do custo do molde

Com o foco na viabilidade industrial do molde desenvolvido, é importante a obtenção de dados que sirvam como um ponto de comparação. Visando este objetivo, os custos de todos os materiais do molde foram coletados e organizados na Tabela 5.

Tabela 5 - Custo de materiais utilizados no primeiro molde.

Componente	Preço	Primeiro molde	
		Qtd. utilizada	Custo total
SW 404	R\$142,54/kg	0,250 kg	R\$35,64
HY 404	R\$131,63/kg	0,025 kg	R\$3,29
Resina Epóxi 324	R\$45,00/kg	0,667 kg	R\$30,02
Endurecedor 043	R\$87,50/kg	0,266 kg	R\$23,28
Carga mineral da espuma	R\$26,00/kg	0,600 kg	R\$15,60
Tween 80	R\$80,00/kg	0,044 kg	R\$3,52
Glicerina bidestilada	R\$10,00/kg	0,175 kg	R\$1,75
Água	R\$0,00/kg	0,415 kg	R\$0,00
RenLam M	R\$54,43/kg	0,702 kg	R\$38,21
HY 956	R\$184,79/kg	0,081 kg	R\$14,97
Quartzo em pó	R\$6,00/kg	1,224 kg	R\$7,34
Espigões (1/4" x 1/4")	R\$6,67/un	6 un	R\$40,00
Varetas de alumínio	R\$3,00/m	6,75 m	R\$20,25
Tubos de PVC	R\$3,29/m	1,94 m	R\$6,39
Borracha (10mm x 6mm)	R\$2,39/m	0,90 m	R\$2,15
Madeira MDF (esp. 18mm)	R\$26,46/m ²	0,10 m ²	R\$2,65
TOTAL	-	-	R\$245,05

É importante notar que o custo de todos os materiais utilizados no primeiro molde produzido é maior do que nos moldes subsequentes, em razão da reutilização de certos componentes como as varetas de alumínio e as estruturas de madeira.

O custo de mão de obra não foi levado em consideração devido à simplicidade das operações, que se resumem em montagens, furações simples e corte de chapas de madeira e barras/tubos. Observa-se também que após o preparo das estruturas iniciais, as únicas operações que precisam ser repetidas são as furações nos tubos de PVC.

A Tabela 6 apresenta o custo de um molde considerando a reutilização de elementos.

Tabela 6 - Custo de materiais considerando reutilização de peças

Componente	Preço	Após primeiro molde	
		Qtd. utilizada	Custo total
SW 404	R\$142,54/kg	0,250 kg	R\$35,64
HY 404	R\$131,63/kg	0,025 kg	R\$3,29
Resina Epóxi 324	R\$45,00/kg	0,667 kg	R\$30,02
Endurecedor 043	R\$87,50/kg	0,266 kg	R\$23,28
Carga mineral da espuma	R\$26,00/kg	0,600 kg	R\$15,60
Tween 80	R\$80,00/kg	0,044 kg	R\$3,52
Glicerina bidestilada	R\$10,00/kg	0,175 kg	R\$1,75
Água	R\$0,00/kg	0,415 kg	R\$0,00
RenLam M	R\$54,43/kg	0,702 kg	R\$38,21
HY 956	R\$184,79/kg	0,081 kg	R\$14,97
Quartzo em pó	R\$6,00/kg	1,224 kg	R\$7,34
Espigões (1/4" x 1/4")	R\$6,67/un	6 un	R\$40,00
Varetas de alumínio	R\$3,00/m	0,00 m	R\$0,00
Tubos de PVC	R\$3,29/m	1,94 m	R\$6,39
Borracha (10mm x 6mm)	R\$2,39/m	0,90 m	R\$2,15
Madeira MDF (esp. 18mm)	R\$26,46/m ²	0,00 m ²	R\$0,00
TOTAL	-	-	R\$222,15

Para determinar a real viabilidade do molde em relação ao custo, primeiramente seria necessário descobrir a quantidade total de ciclos que o molde suporta. Quanto maior o número de ciclos, mais viável é o molde, uma vez que diferentemente de moldes de gesso convencionais, os moldes de resina porosa podem ser reutilizados aproximadamente 2000 vezes se forem bem projetados (GALHARDI, 1998).

5.4 Resistência à compressão

Com o ensaio de resistência a compressão foi possível perceber diferentes comportamentos do corpo de prova ao longo do ensaio, devido à presença de diferentes camadas.

Apesar de não influenciar na região de trabalho do molde, que está em torno de 0,7 MPa, essa mudança no comportamento pode ser visualizada no Gráfico 1, que representa a curva de tensão por deformação do corpo de prova 4. As outras amostras apresentaram curvas similares.

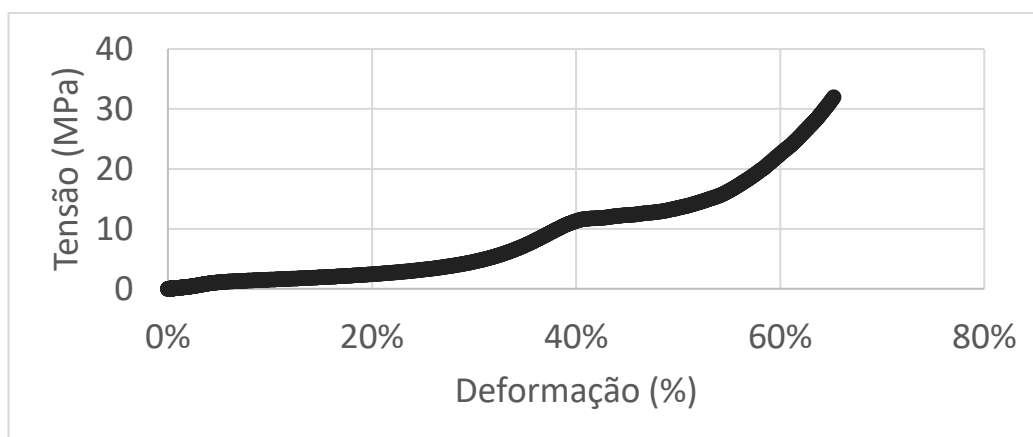


Gráfico 1 - Curva tensão x deformação do corpo de prova nº 4

Levando em consideração que a máquina protótipo trabalha com a pressão de 7 bar (0,7 MPa), os corpos de prova devem ser analisados nessa região. Com isso em mente, o comportamento do material nessa condição pode ser visto no Gráfico 2.

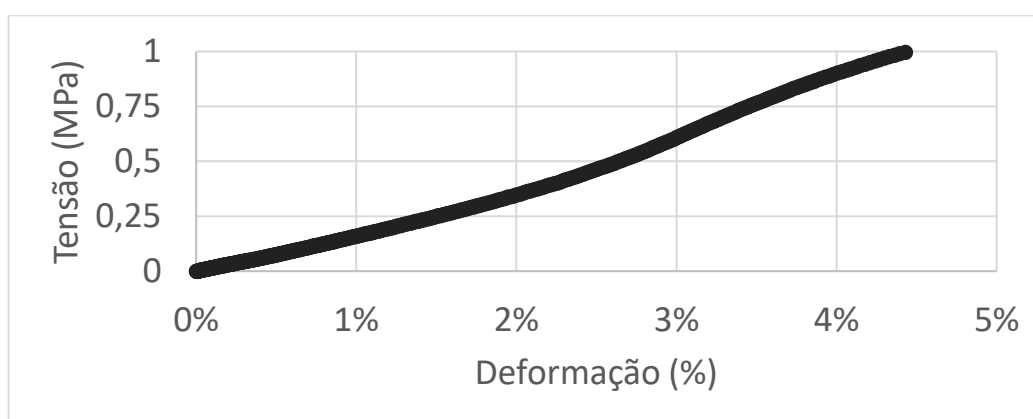


Gráfico 2 - Curva tensão x deformação do corpo de prova nº 4 na região de trabalho

As deformações obtidas com a pressão de 0,7MPa estão relacionadas na Tabela 7. Percebe-se que a espuma ainda está na região de deformação elástica, com uma média de 3,69% de deformação, o que representa 1,1 mm de deformação quando comparada à espessura do corpo de prova. Após a recuperação elástica, o molde não deverá apresentar problemas.

Tabela 7 - Deformação dos corpos de prova à pressão de 0,7 MPa

Corpo de prova	Diâmetro (mm)	Largura (mm)	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de Variação (%)
CP 1	61,35	28,50		4,02			
CP 2	61,30	29,15		3,48			
CP 3	60,60	30,55	0,70	4,41	3,69	0,516	13,97%
CP 4	60,10	28,80		3,43			
CP 5	60,50	29,05		3,12			

Os módulos de elasticidade também foram calculados e são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Módulo de elasticidade dos corpos de prova

Corpo de prova	Módulo Elasticidade (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
CP 1	19,43			
CP 2	18,85			
CP 3	17,58	19,57	2,353	12,03%
CP 4	18,38			
CP 5	23,6			

5.5 Teste do molde na máquina protótipo

Para iniciar o teste, primeiro o molde foi fixado na malha de furos. Essa tarefa se mostrou mais demorada do que o esperado, pois a localização e espaçamento dos furos tornaram a fixação mais complicada. Após a fixação e preparação do molde, o

teste foi iniciado. Durante esse processo, é necessário estar atento à quatro pontos principais: se a formação da peça ocorreu, se está escoando apenas água pelos canais internos desenvolvidos para esse fim, se a vedação do molde é funcional e por último, deve-se analisar a integridade do molde. A região de entrada de barbotina pode ser vista na Figura 32 antes e após o processo.

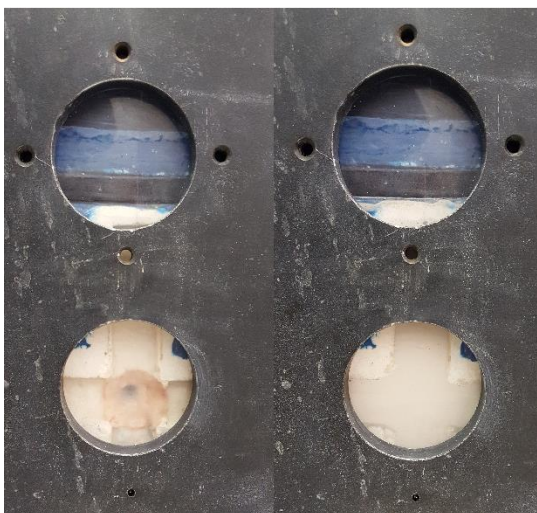


Figura 32 - Antes e depois da entrada da barbotina no molde

Infelizmente dois desses pontos não foram aprovados no teste, pois não houve a formação da peça e a barbotina não estava sendo filtrada na cavidade do molde, portanto escoava junto à água. A vedação e a integridade do molde após o teste foram aprovados e não apresentam qualquer problema. O molde após o teste pode ser visualizado na Figura 33, na qual percebe-se a inexistência da formação de parede de cerâmica.



Figura 33 - Molde após o teste

A causa para a falha da fabricação da peça e da filtração da barbotina na cavidade foi a mesma: o material da camada 2 apresentou porosidade muito elevada, permitindo assim, que as partículas de cerâmica atravessassem o molde e não fossem retidas. Portanto, será preciso utilizar uma composição com menor quantidade de emulsão na mistura da espuma epóxi para que os requisitos do processo sejam atingidos. Para saber exatamente qual composição deve ser utilizada, são necessários testes e medições de formação de parede e porosidade.

Apesar de não apresentar porosidade adequada, todas as outras características do molde se mostraram funcionais e adequadas ao processo. Os canais internos para a água permitiram o escoamento do material de dentro do molde para o exterior, a resistência do molde foi suficiente para suportar as pressões de fixação e de processo e finalizando, a vedação de borracha não permitiu a saída da barbotina pelas laterais, como planejado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi analisada a junção de três conceitos para a confecção do molde. Primeiramente, o material principal do molde: a espuma porosa de resina epóxi, com composição que visa otimizar a formação de parede em conjunto com a resistência do molde no processo de colagem de barbotina sob pressão. Em segundo lugar, a técnica de multicamadas com o objetivo de combinar as propriedades de resistência e porosidade de cada camada conforme a necessidade. Finalizando, foram projetados e confeccionados canais internos ao molde para o escoamento de água, testando tanto a metodologia de construção quanto a qualidade do produto final.

Percebeu-se que melhorias em relação ao projeto e à confecção do molde devem ser realizadas, visto que foi apresentado apenas um primeiro protótipo. Os resultados preliminares são promissores, uma vez que as alterações sugeridas são de simples solução. Para se obter um melhor indicativo da qualidade e eficiência da espuma utilizada, assim como encontrar uma composição com porosidade adequada à formação de parede de barbotina, é de interesse realizar mais testes envolvendo a permeabilidade e formação de parede. O ponto ótimo que relaciona estas características com os requisitos mínimos do processo pode ser encontrado alterando a quantidade de emulsão utilizada na composição da espuma.

Outro ponto a ser estudado é a quantidade de canais internos utilizados, ela pode ser relacionada à velocidade de formação de parede e conseqüentemente à produtividade obtida no processo. Quanto maior for o número de canais, maior será a velocidade da colagem sob pressão, mas com isso, a complexidade da confecção do molde também aumenta.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M. M.; NUNES, R. C.; AMARAL, E. H. **Metodologia para Cálculo do Risco por Composição de Métodos**. Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

ARAÚJO, M. S.; WENG L.Y.; JACICHEN G.; CERRI J.A.; **A tecnologia de colagem sob pressão como fortalecimento competitivo para a indústria de louça de mesa nacional**. 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, PR, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e Documentação - Trabalhos Acadêmicos – Apresentação**: NBR 14724. Rio de Janeiro, 2002. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Numeração Progressiva das Seções de um Documento**: NBR 6024. Rio de Janeiro, 1989/2002. 2 p.

AUGUSTSSON, C. **NM EPOXY HANDBOOK**, 3rd, Sweden, 2004.

BERGER, Iris; SEIDEMANN, I.; BAUMGARTEN, A. **Formation and prevention of casting pores in slip-cast products**. In: CFI, Ceramic Forum International/Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft. 1990. p. 239-44.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta *et al.* **A indústria cerâmica brasileira**. Cerâmica industrial, v. 5, n. 3, p. 31-36, 2000.

CASTANHO, S. M.; MORENO, R. **Processamento de nitreto silício utilizando-se técnicas de filtração coloidal**. Cerâmica, v. 44 n.290. São Paulo Nov/Dec. 1998.

CATAFESTA, J. *et al.* **Colagem de barbotina de aluminas submicrométricas comerciais**. Cerâmica, v. 53, p. 29-34, 2007.

CIMINELLI, R. R. **Critérios para a formulação de cargas e reforços minerais em termoplásticos**. Congresso brasileiro do plástico reforçado, São Paulo, 1988.
DARCY, Henry. **Les fontaines publique de la ville de Dijon**. Dalmont, Paris, v. 647, 1856.

DOW, **D.E.R.™ 324**. Disponível em:
<https://www.dow.com/assets/attachments/business/pcm/der/der_324/tds/der_324.pdf> Acesso em: 15 jun. 2017.

COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS DA UTFPR. **Normas para a Elaboração de Trabalhos Acadêmicos**. Curitiba: Editora UTFPR, 2009. 112 p.

ERGÜN, Y. **Development and Characterization of PMMA Based Porous Materials Used for High Pressure Casting of Sanitaryware Ceramics**. Dissertação de Mestrado. Department Materials Science and Engineering, Izmir Institute of Technology, Pg 50-55, jul.2004.

FREITAS, D. A. N.; ARAÚJO, M. S.; CERRI, J. A. . **Desenvolvimento de molde polimérico para colagem sob pressão de peças cerâmicas**. 56º. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2012, Curitiba. 56º. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2012.

GALHARDI, A. C.; **Processo de Fabricação de Moldes Plásticos Porosos para Utilização na Produção de Produtos Cerâmicos Conformados por Fundição sob Pressão e Moldagem Plástica**. INPI – Brasil, No. UM 7501070, jun.1995.

GALHARDI, A. C.; **Desenvolvimento e Caracterização de Espumas Rígidas com Poros Intercomunicantes de Polimetacrilato de Metila e sua Aplicação na Indústria Cerâmica**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Materiais, Campinas, UNICAMP, dez. 1998.

GIBSON, Lorna J.; ASHBY, Michael F. **Cellular solids: structure and properties**. Cambridge university press, 1999.

HEIMANN, Robert B. **Classic and advanced ceramics: from fundamentals to applications**. John Wiley & Sons, 2010.

HUNTSMAN, **RenGel® SW 404 / Ren® HY 404**, mai. 2010. Disponível em:
<http://www.maxepoxi.com.br/pdf/rengel_sw_404_hy_404.pdf> Acesso em: 8 nov. 2017.

KRAUS, J.; **Pressure Casting in Silicate Ceramics**. Industries Forum, v. 70, n. 5, p. 219-221, 1993.

LEITE, Eduardo Antonio. **Avaliação dos Riscos Ocupacionais Provocados pela Resina Epóxi aos Trabalhadores do Setor de Mármore e Granitos de Cachoeiro de Itapemirim-ES**. Monografia de Conclusão do Curso de Especialização em Perícia Médica da Universidade Gama Filho e Fundação Unimed. Vitória, ES, 2009.

LIRMAN, J.C. **Projeto de aparato medidor de permeabilidade e formação de parede para caracterização da colagem sob pressão**. Relatório de Pesquisa. Curitiba. UTFPR. 2012.

MARINO, L. F; BOSCHI, A. O. **A expansão térmica dos revestimentos cerâmicos. Parte IV: Efeitos da adição de Dolomita**, v. 5, n. 1, Cerâmica Industrial, 2000.

MORENO, R.; SALOMONI, A.; STAMENKOVIC, I. **Influence of slip rheology on pressure casting of alumina**. Journal of the European Ceramic Society, v. 17, n. 2-3, p. 327-331, 1997.

PRADO, US do *et al.* **Panorama da indústria cerâmica brasileira na última década**. Cerâmica Industrial. São Paulo, v. 18, n. 1, p. 07-11, 2013.

PALUCH, M. P.; ARAÚJO, M. S.; CERRI, J. A.; **Espuma rígida microporosa de célula aberta obtida por emulsão em epóxi**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Natal, RN, 2016.

SALVINI, V. R.; GARCIA, J.R. OLIVEIRA, I. R. de; PANDOFELLI, V. C. F. **Agente espumante e seus efeitos nas propriedades físicas de alumina porosa**. Cerâmica, São Paulo, v. 52, n.321, Mar, 2006.

VIEIRA, Jocieler Claudio. **Estudo de interfaces eletroquímicas envolvendo materiais metálicos de uso odontológico**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ZORZI, J. E.; PEROTTONI, C. A., JORNADA, J. A. H., **Moldagem por injeção em baixa pressão de peças complexas de cerâmicas avançadas produzidas com pós submicrométricos**. Cerâmica. São Paulo, v.50 n.315, 2004