

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

RAFAEL SUGAMOSTO ROMFELD

**IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS EM MÁQUINA PROTÓTIPO DE  
COLAGEM SOB PRESSÃO DE PEÇAS CERÂMICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

RAFAEL SUGAMOSTO ROMFELD

## **IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS EM MÁQUINA PROTÓTIPO DE 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 "IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS EM MÁQUINA PROTÓTIPO DE COLAGEM SOB PRESSÃO DE PEÇAS CERÂMICAS", realizado pelo aluno Rafael Sugamoto Romfeld, 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  
Departamento Acadêmico de Mecânica, UTFPR  
Orientadora

Prof. Dr. José Alberto Cerri  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR  
Coorientador

Prof. Dr. Celso Salamon  
Departamento Acadêmico de Mecânica, UTFPR  
Avaliador

Prof. Dr. Lucas Berti  
Departamento Acadêmico de Mecânica, UTFPR  
Avaliador

Curitiba, 02 de julho de 2018.

*Dedico este trabalho a  
meus pais, Maria Cristina e Irineu,  
meus nonnos Giuseppa e Quirino,  
minha avó Teresinha,  
à toda família Sugamoto  
e amigos,  
que acompanharam minha caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a meus pais Maria Cristina e Irineu por terem me proporcionado desde cedo, estudo de qualidade e formação pessoal, oferecendo todo suporte que eles não tiveram em suas trajetórias de vida.

Agradeço a meu irmão e melhor amigo, Victor, por ser meu referencial em desenvolvimento acadêmico e resistência aos diversos preconceitos.

Agradeço a meus nonnos, Giuseppa e Quirino, imigrantes italianos fugitivos da 2ª Guerra Mundial, cuja resiliência e luta por um futuro melhor resultaram na construção do que conheço por *famiglia*, cujas melhores memórias de infância e adolescência guardo comigo.

Agradeço à minha avó Teresinha, exemplo de luta e força da mãe solteira, cujo carinho e orações sempre me fortaleceram.

Agradeço a meus primos e primas por todos os momentos de lazer e aventuras que fazem da vida uma experiência única e memorável.

Agradeço aos amigos de ensino fundamental e médio que mantenho amizade até hoje. Livros e séries serão produzidos em nossa homenagem.

Agradeço a todos colegas e amigos profissionais das empresas e estágios em que tive o prazer de aprender o que não se ensina em sala de aula, principalmente aos que me ofereceram oportunidades e confiaram em meu trabalho.

Agradeço aos mestres que participaram direta e indiretamente deste trabalho.

## RESUMO

ROMFELD, Rafael Sugamoto. Implementação de melhorias em máquina protótipo de colagem sob pressão de peças cerâmicas. 2018. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2018.

As peças cerâmicas acompanham o ser humano há milhares de anos. Diversos métodos artesanais ainda são aplicados atualmente para fabricar louças, porcelanas e peças decorativas dos mais variados formatos e acabamentos. Com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir os tempos de operação e melhorar a qualidade do produto acabado, processos automatizados foram progressivamente incorporados às indústrias cerâmicas. A combinação de avanços tecnológicos nas áreas de materiais, eletropneumática e eletrônica resulta em sistemas de produção tal qual a colagem de barbotina sob pressão. O estudo de caso do protótipo, desenvolvido em meados de 2010 pela parceria de Hélice Tripla, apresenta diversas deficiências a serem sanadas. Este trabalho realiza testes, alterações e melhorias na máquina, assim como o desenvolvimento de um permeâmetro para auxiliar o estudo e elaboração de um molde polimérico adequado para a unidade de colagem de louça sob pressão. Contornando limitações técnicas e financeiras, são efetuados serviços de manutenção, substituição de componentes e otimização operacional. O conjunto é projetado em CAD e recupera condições apropriadas de funcionamento para trabalhos acadêmicos futuros.

**Palavras-chave:** Colagem sob pressão. Colagem de barbotina. Cerâmica.

## ABSTRACT

ROMFELD, Rafael Sugamoto. Implementation of improvements in prototype machine of high pressure slip casting of ceramic pieces. 2018. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2018.

Ceramic items and human beings go way back for thousand years. Several crafting methods are still applied nowadays in order to manufacture tableware, porcelain and decorative pieces of all kinds of shapes and finishing. In order to increase productivity, reducing times of processes and enhance product's quality, automation practices were progressively being incorporated to the factory techniques. The combination of technological improvements in the areas of materials, electropneumatics and electronics resulted in systems such as pressure slip casting. The prototype's case study, developed in mid-2010 by a Triple Helix partnership, presents many deficiencies to be solved. This work executes tests, modifications and improvements in the machine, as well as the development of a permeameter to assist on the studies and construction of a porous polymeric mould suitable for the high pressure slip casting machine. Overcoming technical and financial limits, maintenance services are executed, components substituted and machine's functions are optimized. The set is CAD projected and regains appropriate working conditions for future academic practices.

**Keywords:** Pressure slip casting. Slip casting. Ceramic.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama de processamento de cerâmicas.....	27
Figura 2 – Etapas do processo de colagem de barbotina.....	31
Figura 3 – Esquema simplificado de colagem sob pressão.....	33
Figura 4 – Espessura de camada x tempo x pressão.....	36
Figura 5 – Configuração geral de bombas.....	38
Figura 6 – Resistência química dos principais materiais plásticos.....	40
Figura 7 – Tipos de bombas em relação ao particulado em suspensão.....	41
Figura 8 – Revestimento interno de carcaça e rotor.....	42
Figura 9 – Esquema de bomba diafragma.....	44
Figura 10 – Vazão instantânea X ângulo de rotação.....	44
Figura 11 – Efeitos de atenuação da vazão.....	46
Figura 12 – Corte de bomba helicoidal.....	47
Figura 13 – Corte de bomba de lóbulos.....	48
Figura 14 – Simbologia específica do CLP.....	50
Figura 15 – UCLP pré-trabalhos.....	51
Figura 16 – Vista lateral da UCLP pré-trabalhos.....	53
Figura 17 – Vista frontal da UCLP pré-trabalhos.....	54
Figura 18 – Componentes hidropneumáticos da UCLP.....	55
Figura 19 – Diagrama Ladder atual do CLP da máquina.....	56
Figura 20 – Painel de controle e operação.....	57
Figura 21 – Esquema do painel de controle.....	57
Figura 22 – Aparato.....	61
Figura 23 – Projeto de permeâmetro.....	63
Figura 24 – Projeto de porta amostras.....	65
Figura 25 – Anéis comerciais testados e adaptados no porta amostras.....	66
Figura 26 – Anéis artesanais de silicone acético feitos sob medida.....	66

Figura 27 – Montagem do permeâmetro.....	67
Figura 28 – Cores obtidas após sinterização.....	68
Figura 29 – Caracterização de amostra porosa.....	68
Figura 30 – Caracterização da barbotina marfim comercial.....	69
Figura 31 – Resultado catastrófico após 4 bar de pressão.....	70
Figura 32 – Amostra colapsada (barbotina).....	70
Figura 33 – Amostra #2 após teste de permeabilidade.....	71
Figura 34 – Momento do colapso da amostra #5.....	72
Figura 35 – Amostra #5 colapsada.....	72
Figura 36 – Amostra #6 com composição não uniforme.....	73
Figura 37 – Vista lateral da UCLP atualizada.....	75
Figura 38 – Deposição de barbotina solidificada no interior do manômetro.....	76
Figura 39 – Substituição do manômetro danificado.....	76
Figura 40 – Aspecto interno da tubulação.....	77
Figura 41 – Nova disposição das mangueiras.....	78
Figura 42 – Funil coletor de líquidos da calha.....	78
Figura 43 – Fechamento da extremidade esquerda da calha de coleta.....	79
Figura 44 – Apoios do compressor.....	79
Figura 45 – Curvas de performance da bomba diafragma Netzsch.....	82
Figura 46 – Amortecedor de pulsação.....	83
Figura 47 – Cotação de amortecedor de pulsação Vallair.....	84
Figura 48 – Bomba Helicoidal NETZSCH NEMO Monobloco BY.....	85
Figura 49 – Bomba Lóbulo NETZSCH TORNADO T1.....	86
Figura 50 – Bomba Dosadora de Diafragma NETZSCH SERA.....	86

Figura 51 – Vista traseira do projeto da UCLP.....	87
Figura 52 – Vista lateral esquerda do projeto da UCLP.....	88
Figura 53 – Vista lateral direita do projeto da UCLP.....	88
Figura 54 – Vista frontal do projeto da UCLP.....	89

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RELAÇÕES TAMANHO X VARIÁVEIS X CUSTO DE PEÇAS CERÂMICAS.....	23
TABELA 2 – COMPOSIÇÃO DE AMOSTRAS DE RESINA EPÓXI UTILIZADAS NOS TESTES COM PERMEÂMETRO.....	62
TABELA 3 – RESUMO DE CUSTOS EM MELHORIAS IMPLEMENTADAS NO APARATO MEDIDOR DE PERMEABILIDADE.....	64
TABELA 4 – RESUMO DE TESTES COM ÁGUA NO PERMEÂMETRO.....	73
TABELA 5 – MEDIÇÕES DE VAZÃO EM MODO MANUAL (ACIONAMENTO ÚNICO).....	80
TABELA 6 – MEDIÇÕES DE VAZÃO EM MODO MANUAL (ACIONAMENTO CONTÍNUO).....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute
ANSI	American National Standards Institute
APL	Arranjo Produtivo Local
ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
CAD	Computer Aided Design
CIF	Custos Indiretos na Fabricação
CLP	Controlador Lógico Programável
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EVA	Espuma vinílica acetinada ( <i>Ethylene Vinyl Acetate</i> )
Fecomércio PR	Federação do Comércio do Paraná
FIEP	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GRAF CET	<i>Graphe Fonctionnel de Comande, Étapes Transitions</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MOD	Mão de Obra Direta
NPT	Núcleo de Pesquisas Tecnológicas
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
PMMA	Polimetil-metacrilato
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SESI	Serviço Social da Indústria
SINDILOUÇA-PR	Sindicato das Indústrias de Vidros, Cristais, Espelhos, Cerâmica de Louça, Porcelana, Pisos e Revestimentos Cerâmicos no Estado PR
UCLP	Unidade de Colagem de Louça sob Pressão
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

$dx$	Taxa de crescimento de parede
$\zeta$	Constante do material dependente da permeabilidade do molde, volume drenado, percentual sólido em solução e viscosidade (temperatura)
$x$	Espessura de parede
$dt$	Taxa de variação de tempo
$V$	Velocidade superficial do escoamento
$A$	Área de filtração
$\frac{dv}{dt}$	Taxa de volume de líquido filtrado
$k$	Fator de permeabilidade
$\eta$	Viscosidade do filtrado
$\frac{dP}{dx}$	Gradiente de pressão ao longo da espessura
$P$	Pressão
$t$	Tempo
$c$	Concentração percentual de sólidos na barbotina
$n$	Porosidade percentual do corpo cerâmico
$x_{p1}^2$	Espessura da torta na pressão 1
$x_{p2}^2$	Espessura da torta na pressão 2
$\frac{P_1}{P_2}$	Razão entre pressões 1 e 2

$\zeta$	Constante
$x^2_{T1}$	Espessura da torta na temperatura de ensaio T <sub>1</sub>
$x^2_{T2}$	Espessura da torta na temperatura de ensaio T <sub>2</sub>
$\eta_{T1}$	Viscosidade do filtrado na temperatura T <sub>1</sub>
$\eta_{T2}$	Viscosidade do filtrado na temperatura T <sub>2</sub>
$x^2_A$	Espessura de parede para molde A
$x^2_B$	Espessura de parede para molde B
$k_{oA}$	Permeabilidade do molde A
$k_{oB}$	Permeabilidade do molde B
$Q_i$	Vazão instantânea
$D$	Diâmetro do êmbolo
$V_a$	Projeção da velocidade periférica na direção axial
$w$	Velocidade angular
$R$	Raio de atuação do órgão propulsor
$\theta$	Ângulo de rotação
$Q_h$	Vazão da bomba helicoidal
$N$	Velocidade de rotação do rotor
$D_e$	Diâmetro exterior da hélice do parafuso
$D_i$	Diâmetro da raiz da hélice do parafuso

$T$	Passo da hélice do rotor
$Q_l$	Vazão da bomba de lóbulos
$K_l$	Constante que depende da geometria do rotor e do número de lóbulos
$D_l$	Diâmetro exterior do rotor
$E$	Distância entre centros dos rotores
$b_l$	Largura do rotor
$N$	Velocidade de rotação do rotor
$\eta_l$	Rendimento volumétrico da bomba de lóbulo

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Cenário nacional.....	19
1.2	Caracterização do Problema.....	21
1.3	Objetivos.....	23
1.4	Justificativa .....	24
1.5	Etapas do Trabalho .....	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	26
2.1	Histórico.....	26
2.2	Materiais Cerâmicos.....	27
2.3	Colagem de barbotina .....	29
2.4	Colagem de barbotina sob pressão .....	32
2.5	Bombas para sistemas particulados .....	38
2.5.1	Bomba centrífuga .....	40
2.5.2	Bomba diafragma .....	43
2.5.3	Bombas helicoidais.....	46
2.5.4	Bombas de lóbulos .....	47
2.6	CLP.....	49
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	51
3.1	Avaliação do estado atual da UCLP.....	51
3.2	Funcionamento da UCLP .....	52
3.3	Possibilidades de otimização operacional da UCLP .....	59
3.4	Possibilidades de modificações e testes em aparato simulador de molde.....	61
3.5	Modelagem em CAD e Projeto mecânico da UCLP .....	62
4	RESULTADOS .....	63
4.1	Dispositivo simulador de molde.....	63
4.2	Otimização operacional da UCLP .....	74
4.2.1	Fiação, mangueiras de ar comprimido e manômetro lateral.....	74
4.2.2	Tubulação, mangueiras de fluido e calha coletora.....	77
4.2.3	Compressor.....	79
4.2.4	Sistema de Bombeamento .....	80
4.3	<i>Benchmarking</i> .....	84
4.4	Projeto da UCLP.....	87
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
	REFERÊNCIAS.....	91
	ANEXO A – Fluxograma: funcionamento da UCLP (etapa 1) .....	94
	ANEXO B – Fluxograma: funcionamento da UCLP (etapa 2) .....	95
	ANEXO C – Fluxograma: funcionamento da UCLP (etapa 3) .....	96
	ANEXO D – Notas fiscais referentes ao permeâmetro.....	97
	APÊNDICE A – Modelagem CAD da UCLP.....	99
	APÊNDICE B – Detalhes de projeto da UCLP .....	101

## 1 INTRODUÇÃO

As principais técnicas empregadas atualmente na fabricação de louça de mesa são: o torneamento de massa cerâmica plástica, a colagem de barbotina e a prensagem isostática. Artesãos, micro e pequenos empresários produzem suas peças por torneamento e colagem de barbotina, dependendo do formato, tipo da massa e condições do processo. O torneamento consiste em moldar argila sobre um prato rotatório e, com a ajuda das mãos e de ferramentas específicas, torneando a massa e retirando material até o acabamento da peça de revolução. Na colagem de barbotina, é utilizada uma suspensão sólido/líquido composta de material cerâmico, água e defloculante como aditivo. A barbotina é então depositada em um molde poroso de gesso, no qual a água é absorvida por capilaridade através dos poros do molde. Ao formar-se uma camada de espessura desejada, o excesso de solução é descartado e a peça verde é desmoldada.

No caso de empresas de grande porte, é utilizado o processo de prensagem isostática, preferível ao torneamento e à colagem de barbotina, cuja produção seriada com moldes de gesso exigiria o emprego de um número maior de mão de obra e mais espaço físico. Estes processos, mais lentos, não automatizados, cuja qualidade do produto final é mais dependente da mão de obra, apresentam baixa produtividade.

De acordo com (ARAÚJO; WENG; CERRI, 2012), a tecnologia de colagem sob pressão, embora usual nas empresas de louças sanitárias e em empresas de louças de mesa de outros países, no Brasil não há informações de um equipamento instalado e operando para louça de mesa. No caso de máquinas importadas de colagem sob pressão, os valores tornam a importação inviável para pequenos e médios produtores, sem contar a situação de venda casada de máquinas e moldes.

Em meados de 2007, o grupo de pesquisa em cerâmicas da UTFPR (NPT), propôs o projeto de uma máquina semiautomática para colagem de barbotina sob pressão como uma solução inovadora para o setor cerâmico. O protótipo da Unidade de Colagem de Louça sob Pressão (UCLP) construído em 2010 foi concebido no modelo Hélice Tripla, por meio da parceria governo-universidade-empresa privada, financiado pelos órgãos FINEP, SEBRAE e CNPq. O modelo protótipo da UCLP

tinha como finalidade realizar testes de controle de processo, de massa cerâmica e de moldes porosos, de modo a cumprir o primeiro passo para o desenvolvimento de um modelo comercial que pudesse ser usado em micro e pequenas empresas do ramo cerâmico. Além do protótipo, a equipe do NPT também formulou a massa cerâmica adequada à colagem sob pressão, assim como um molde em resina polimérica porosa a ser utilizado na UCLP.

A máquina encontra-se atualmente no Laboratório de Materiais Alternativos do Bloco A na UTFPR Campus Curitiba – Sede Ecoville, necessitando de manutenção, alterações e adaptações para funcionamento, seja para uso didático em disciplinas, seja para desenvolvimento de pesquisa. Este trabalho discorrerá sobre tal protótipo e suas características, buscando assim a solução de problemas existentes, a fim de aprimorar o processo e estudar as etapas de fabricação de peças cerâmicas.

## **1.1 Cenário nacional**

A fim de explorar uma possível oportunidade no cenário nacional, cuja fabricação de louças e porcelanas é geralmente artesanal e pouco automatizada, o desenvolvimento de uma máquina automática ou semiautomática que utiliza moldes poliméricos resultaria em aumento de produtividade, redução das etapas no processo, melhoria de qualidade e precisão dimensional do produto final, gerando redução de custos devido ao volume constante de massa em cada peça, padronização de parâmetros técnicos e automação da produção.

No Brasil, os polos cerâmicos localizam-se nos estados de São Paulo (em Porto Ferreira e Pedreira) e no Paraná (Campo Largo), concentrando várias empresas tradicionais do ramo cerâmico que fabricam louça de mesa e artística em faiança, grés e porcelana (MOTTA, 2001). A cidade paranaense é considerada a “Capital da Louça”, sendo a argila um recurso natural abundante no solo local, devido à topografia do relevo (bacia sedimentar), fator responsável por atrair artesãos na década de 1950.

Segundo o estudo de caso realizado pelo IPARDES, o APL da louça neste município gera 25000 empregos diretos, envolvendo verticalmente uma série de

outros ramos na cadeia de produção, como mineradoras, fabricantes de moldes, modeladoras, produtoras de decalques, distribuidoras, revendedoras, entre outros, sendo responsável por 60% do ICMS da cidade. A pesquisa foi realizada com 25 empresas formalmente estabelecidas, desde microempresas com 3 funcionários até empresas de grande porte com 640 funcionários no quadro. A maior parte delas enquadra-se como micro e pequeno porte, sendo apenas duas delas de médio e grande porte.

Os dados do IPARDES ainda indicam que sete das micro e pequenas empresas operam no limite da capacidade produtiva instalada, num único turno de trabalho. Por outro lado, as empresas com linhas ociosas apresentam como justificativas para tal, dificuldades de ordem tecnológica, gerencial, financeira e mercadológica. Das quatro empresas com elevado grau de ociosidade, três são fabricantes tradicionais de cerâmica na região.

O estudo indica, conforme os empresários, que as principais demandas locais do setor cerâmico são: criação de escola técnica para formação de mão de obra especializada, um centro comercial para exposição de produtos e laboratórios especializados para suporte técnico e desenvolvimento de novas tecnologias.

Conforme as considerações finais do IPARDES:

De qualquer forma, até o momento, o APL não conta concretamente com os serviços de formação de mão-de-obra específicos para o segmento de cerâmica e porcelanas, assim como de um laboratório especializado. Apesar da especialização local e da existência de fornecedores de matéria-prima na região, o segmento carece ainda de instituições de suporte tecnológico, gerencial e mercadológico ao empresário. As instituições de apoio como o SENAI, o SEBRAE, o TECPAR, a MINEROPAR e as instituições de ensino superior ainda interagem muito pouco com as empresas do APL, devido a problemas de oferta (laboratórios de instituições sucateados) e de demanda (as micro e pequenas empresas não possuem tempo disponível e/ou não possuem recursos para pagar pelos serviços prestados).

Apesar da fraca cooperação entre as empresas do APL, atualmente o segmento reconhece a necessidade de ações coletivas, como retomar o projeto de implantação de uma escola técnica de cerâmica, de laboratório especializado, bem como de projetos integrados de inovação tecnológica. Um projeto de inovação de produto, a ser coordenado e executado por professores da UTFPR, da UFPR e do Departamento de Engenharia de Materiais da UEPG, está sendo proposto junto à FINEP, em parceria com empresas do APL. O objetivo é desenvolver novos produtos com maior valor agregado e conteúdo tecnológico. (IPARDES, 2006)

A UCLP se apresenta como uma possibilidade de fortalecimento competitivo para a indústria de louça nacional. No cenário em que este trabalho se insere, o estudo multidisciplinar na área da Engenharia Mecânica envolve as áreas de materiais, fluidos, projetos e eletropneumática.

## 1.2 Caracterização do Problema

Assim que a máquina protótipo de colagem sob pressão de peças cerâmicas foi colocada em operação no NPT, foi desenvolvido um molde de compósito multicamadas para injeção de barbotina e obtenção de peças verdes.

No período de utilização da máquina, a equipe do NPT desenvolveu algumas atividades em torno da UCLP. Dentre elas, o caso do trabalho realizado pelo bolsista de iniciação científica (PIBIC), Guilherme Jacichen (JACICHEN, 2012), que executou algumas alterações e melhorias no protótipo, solucionando alguns problemas existentes na época:

- a) Aplicação de bomba a vácuo no molde com pares de mangueiras pneumáticas;
- b) Confecção de manual de operação provisório;
- c) Programação do modo automático;
- d) Conserto da bomba a vácuo;
- e) Conserto das válvulas elétricas;
- f) Instalação de controlador de pressão.

No entanto, faltam sensores, componentes físicos e interfaces que gerem mais dados para a central lógica e possibilitem trabalhar de forma apropriada com outros parâmetros, integrando outras operações do processo de colagem sob pressão como um todo.

Apesar dos problemas a serem solucionados no protótipo já construído, é possível visualizar oportunidade de criação e melhoria, sob o ponto de vista mercadológico, uma vez que falta no mercado cerâmico nacional, maquinário de colagem sob pressão automatizada de peças em louça e porcelana, que se

apresente como alternativa economicamente viável para micro, pequenos e médios produtores.

No que se refere a futuros mercado consumidor para a UCLP, conforme a reportagem do jornal Agora Paraná (2017), o atual polo cerâmico de Campo Largo possui 30 empresas formalmente estabelecidas que são responsáveis pela fabricação nacional de 75% das porcelanas brancas de mesa e 35% das cerâmicas de mesa. A contribuição é de 80% das porcelanas na América Latina. Já as exportações para o Mercosul, Américas Central e do Norte, Europa e Oceania representam 15% a 20% da produção do setor. A 27ª Feira da Louça de Campo Largo, realizada em setembro de 2017, contou com a participação de 50 expositores e patrocínio de diversos órgãos: Prefeitura Municipal de Campo Largo, FIEP, SENAI, SESI, Fecomércio PR e Caixa Econômica Federal.

Este cenário produtivo demonstra uma demanda de mercado que acolheria inovações tecnológicas e consequentes benefícios da técnica de colagem sob pressão de barbotina, que oferece melhorias em termos de produtividade, economia de matéria-prima, redução do custo de mão de obra e número reduzido de moldes, se comparado ao processo tradicional de colagem de barbotina.

Segundo o trabalho apresentado por Carvalho *et al.* (2012) sobre os custos relativos na fabricação de peças cerâmicas decorativas em uma microempresa de Campo Largo, os empresários encontram dificuldades na formação técnica do preço do produto final, decorrente da falta de controle durante os processos de fabricação. Neste sentido, a equipe desenvolveu um programa em Microsoft Excel®, estudando os seguintes fatores: massa, estufa, forno, mão de obra direta (MOD) e custos indiretos na fabricação (CIF). Enquanto as variáveis de quantidade de massa, tempos de estufa e forno (relacionados à quantidade de gás gasta) e o CIF são grandezas diretamente proporcionais ao volume da peça, a MOD é inversamente proporcional à cubagem da peça.

Os produtos foram divididos em três categorias dimensionais: peças pequenas ( $1,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ ), peças médias ( $3,05 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ) e peças grandes ( $3,61 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ ). A tabela mostra um resumo da relação entre custo de fabricação com tamanhos e variáveis de processo:

Tabela 1 – Relações Tamanho x Variáveis x Custo de peças cerâmicas

	PEQUENA	MÉDIA	GRANDE
<b>MASSA</b>	1%	6%	1%
<b>ESTUFA</b>	-	6%	9%
<b>FORNO</b>	2%	26%	42%
<b>MOD</b>	95%	35%	4%
<b>CIF</b>	2%	27%	44%

Fonte: Adaptado de CARVALHO *et al.*, 2012

Observa-se que o custo relativo de mão de obra direta representa 95% nas peças pequenas, sendo a peça média mais equilibrada com relação às variáveis de processo e a peça grande incorre em custos de gás (estufa e forno) devido ao maior volume de massa empregada. Deste modo, a colagem sob pressão automatizada encontra ótima oportunidade no caso de fabricação de peças cerâmicas de pequeno volume.

### 1.3 Objetivos

O principal objetivo do trabalho é solucionar as deficiências atuais do protótipo da UCLP, implementando as melhorias já previstas em estudos anteriores referenciados, efetuando adaptações que se façam necessárias durante o decorrer do processo. A máquina estava parada há algum tempo, novos testes e ajustes foram necessários para operação e otimização do conjunto.

Conforme o desenvolvimento deste estudo, são identificados problemas operacionais na UCLP, em termos de segurança e operação. Portanto, soluções são previstas e testadas, viabilizando os processos a fim de otimizar o desempenho da máquina. É proposto também um projeto de aparato simulador de molde.

## 1.4 Justificativa

O trabalho proposto visa dar sequência a estudos e projetos anteriores que vêm sendo realizados desde 2007 pela equipe de pesquisas em cerâmica do Núcleo de Pesquisas Tecnológicas (NPT) da UTFPR Curitiba, que concebeu o protótipo de colagem de barbotina sob pressão através do modelo da Hélice Tripla.

Solucionar as deficiências e problemas atuais da máquina, assim como implementar alterações e adaptações necessárias para seu ideal funcionamento, formam o conjunto de atividades multidisciplinares envolvendo as áreas de materiais, eletropneumática e projetos. Do teórico acadêmico ao trabalho prático na UCLP existente, a viabilidade econômica e financeira do projeto de uma máquina comercial traz inovação tecnológica e novas possibilidades para o setor de louças e cerâmicas regional e nacional.

Para tanto, foram estudados diversos parâmetros de processo, propriedades do composto verde e da peça cozida, avaliando sua viabilidade mercadológica aplicada à produção de peças de pequena cubagem ( $1,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ ) por micro, pequenas e médias empresas do ramo cerâmico.

Esta proposta de projeto de pesquisa, além de vislumbrar a retomada e otimização do funcionamento do protótipo, também representa possibilidade de fortalecimento competitivo para a indústria regional, a partir da colaboração entre empresários, sindicatos, entidades e órgãos de ação e integração sociais. A parceria com a universidade permite expandir práticas acadêmicas, com desenvolvimento de pesquisas futuras, abertura de novas disciplinas e aperfeiçoamento técnico-profissional da comunidade.

## 1.5 Etapas do Trabalho

Ao decorrer do capítulo 2 (Fundamentação Teórica) é apresentado um levantamento de literatura sobre os materiais cerâmicos e os processos de fabricação, incluindo o princípio de funcionamento de uma máquina de colagem sob pressão, exemplificando o caso da UCLP existente em estudo. Ademais, a teoria de bombeamento de soluções particuladas e uso de CLP são caracterizados para complementar as possibilidades de automatização do processo em questão.

O capítulo 3 (Materiais e Métodos) descreve as etapas previstas no trabalho, em relação ao estado atual em que a UCLP encontrava-se. Primeiramente são identificados os problemas a serem resolvidos e a viabilidade técnico-financeira para tal.

No capítulo 4 (Resultados), são demonstrados os serviços realizados, como manutenções e alterações de funcionamento, assim como testes em diferentes condições de processo. Por fim, é apresentada a modelagem em CAD e o projeto geral da máquina.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Histórico

Segundo os estudos de Labrozzi (1994), o primeiro item cerâmico de uso doméstico surgiu na Inglaterra no século XVII. No século seguinte, uma vasta gama de peças feitas em argila surgiu, modeladas por fitas em molde de gesso e após secagem mensal, cozidas em forno a lenha. Alguns itens eram então esmaltados e novamente queimados.

As peças assim conformadas apresentavam alto grau de porosidade e baixas propriedades mecânicas, sofrendo absorção de água, trincas e quebras constantes. O tempo de produção e a mão de obra encareciam o produto, restrito a consumidores com maior poder aquisitivo.

Em consequência das inovações tecnológicas advindas da Revolução Industrial entre os séculos XVIII e XIX, a colagem de barbotina com suspensão sólido-líquida reduziu o tempo de processo e aumentou a produtividade, porém o trabalhador era responsável pelas funções de fechamento, preenchimento, abertura e desmoldagem da peça verde, além do controle visual da formação da parede. Desta forma, o controle dimensional e a padronização da produção eram prejudicados, decorrentes da fadiga e falha humanas.

Melhorias tais como o uso de placas e colunas guias foram sendo aplicadas conforme a técnica se aprimorava, aumentando produtividade, reduzindo custos e espaço físico em chão de fábrica, aprimorando as condições e o ambiente de trabalho. O uso de secadores e moldes com maior durabilidade, componentes eletropneumáticos e sensores, foram acompanhados pela progressiva evolução computacional, eletrônica e nas ciências dos materiais, permitindo altos níveis de controle e monitoramento de diversos parâmetros, resultando nas técnicas de prensagem isostática e colagem sob pressão utilizadas atualmente na indústria (LABROZZI, 1994).

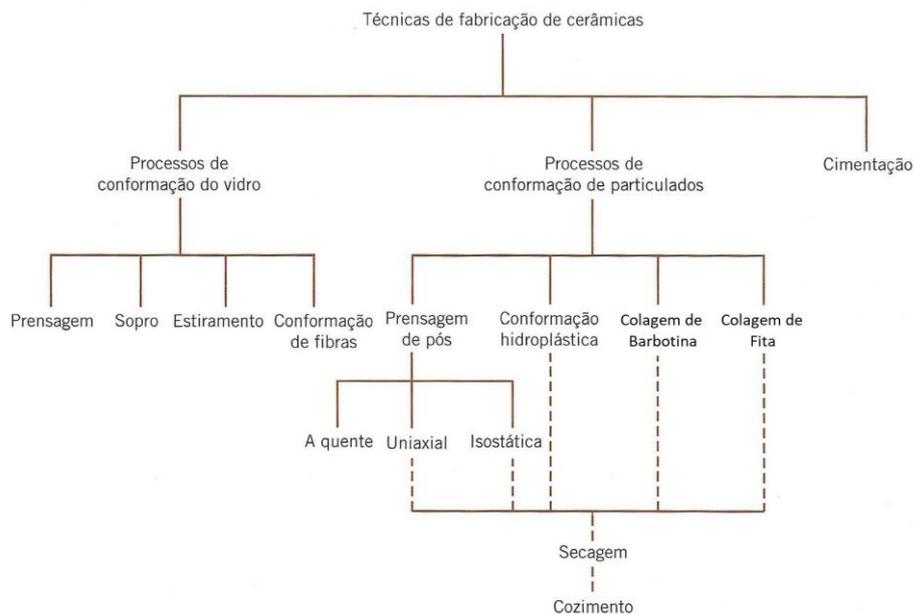
Atualmente, empresas estrangeiras dominam o mercado de produção cerâmica automatizada, apoiadas em profundos conhecimentos técnicos e experimentais, assim como centros de estudos e desenvolvimento de novas tecnologias. No caso

da empresa PCL *Ceramics* (PCL CERAMICS, 2018), o trabalho desenvolvido pela equipe técnica envolve desenvolvimento completo de estudos e soluções, desde a matéria prima, maquinário, moldes e personalização de linhas de produção adequadas à necessidade de cada cliente. O resultado é um produto livre de contaminação, alta densidade a verde, gerando propriedades homogêneas na peça sinterizada, assim como tolerâncias dimensionais apertadas, o que elimina serviços de acabamento posteriores.

## 2.2 Materiais Cerâmicos

Cerâmicas são compostos inorgânicos não metálicos, formados por ligações interatômicas de natureza iônica ou covalentes. A etimologia da palavra deriva do grego “*keramikos*”, de significado “peça queimada”. Logo, as propriedades desejadas originam-se do processo termodinâmico de cozimento ou sinterização (CALLISTER, 2002).

A Figura 1 mostra um diagrama de processos pelos quais as cerâmicas podem ser conformadas:



**Figura 1 – Diagrama de processamento de cerâmicas**

**Fonte: Adaptado de CALLISTER (2002, p. 293).**

A argila, composta por aluminossilicatos, constitui matéria-prima para obter produtos tais como: louças, porcelanas, tijolos, telhas, revestimentos e tubulações. A variação na composição da massa gera estruturas cristalinas complexas, em que ânions e cátions buscam equilíbrio geométrico. Os elementos Si (silício) e O (oxigênio), compõem a categoria de cerâmicas à base de silicatos, formando a argila presente nos solos. Ou seja, em formações sedimentares, a argila é encontrada em abundância, constituindo matéria-prima barata e de fácil conformação quando misturada devidamente à água.

O composto  $\text{SiO}_4^{4-}$  ligado a um íon metálico é o composto químico mais simples dos silicatos e apresenta uma geometria tetraédrica. Já o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) é a mais complexa e possui três formas cristalinas polimórficas: quartzo, cristobalita e tridimita. As ligações interatômicas Si-O são de caráter covalente, resultando em densidades relativamente baixas ( $2,65 \text{ g/cm}^3$  no quartzo) e temperaturas de fusão da ordem de  $1700^\circ\text{C}$ .

É possível que os silicatos formem argilas com arranjo em camadas e estrutura laminar planar de  $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ . No caso do mineral argiloso caolinita, de fórmula molecular  $[\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)\text{OH}_4]$  que apresenta estrutura lamelar, a ligação entre as camadas paralelas é forte e intermediária entre iônica e covalente, lâminas adjacentes são fracamente ligadas por forças de van der Waals. Ao entrar em contato com a caolinita, a água penetra entre as lâminas da estrutura, formando um filme que permite que as partículas entre as camadas da argila deslizem umas sobre as outras, garantindo plasticidade ideal em processos de conformação.

Em seu leque de aplicações diversas, a argila serve como base de mistura para receber outros ingredientes não plásticos. Na conformação de louça branca por exemplo, a massa recebe o sílex (quartzo fino) e o feldspato. Esses componentes exercem as funções de enchimento e fundente respectivamente. O quartzo é quimicamente neutro, apresenta dureza relativamente alta e baixo custo. Os feldspatos são constituídos de agentes fundentes iônicos  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ .

Segundo (CALLISTER, 2002) o conjunto de propriedades físico-químicas é responsável pelas características obtidas nos processos de secagem e cozimento de peças cerâmicas, cuja composição típica varia em torno de 50% de argila, 25% de quartzo e 25% de feldspato.

Quanto às propriedades mecânicas, as cerâmicas tradicionais apresentam características que limitam suas aplicações. No geral, à temperatura ambiente, sofrem fraturas catastróficas frágeis, com pouca absorção de energia, ao serem submetidas a esforços trativos (CALLISTER, 2002). As trincas propagam-se perpendicularmente à direção de aplicação da carga. Defeitos concentradores de tensão tais como lacunas ou intersticiais e impurezas em solução sólida substitucional ou intersticial e principalmente a porosidade, penalizam as resistências à fratura.

No caso de tensões compressivas, não há amplificação de valores decorrentes de defeitos na microestrutura. Logo, as cerâmicas apresentam uma relação de esforços de compressão/tração da ordem de 10, justificando várias aplicações mecânicas.

O comportamento tensão-deformação em cerâmicos é feito com um ensaio de flexão transversal, até a fratura do material, utilizando corpos de prova de seção reta retangular ou circular. A tensão é calculada a partir da espessura do corpo de prova, do momento fletor e do momento de inércia da seção. O ensaio de flexão apresenta-se como substituto razoável ao ensaio de tração, cuja diferença se resume ao modo de aplicação do carregamento. (CALLISTER, 2002).

Durante o teste de flexão, as cerâmicas também apresentam comportamento elástico com relação linear entre tensão-deformação. As relações dos módulos de elasticidade (tensão/deformação) variam entre 70 e 500 GPa, variando conforme o material e a ocorrência de porosidade residual.

Em geral, materiais cerâmicos possuem elevada dureza, fragilidade inerente e sofrem deformações por fluência a altas temperaturas em função da aplicação de cargas compressivas.

### **2.3 Colagem de barbotina**

As inovações tecnológicas que surgiram na Revolução Industrial durante os séculos XVIII e XIX trouxeram novos processos de manufatura cerâmica. Métodos artesanais existentes como colagem em fita, conformação e torneamento hidroplásticos, mostravam-se improdutivos devido à mão de obra que despendiam,

perda de material, tempo elevado de secagem e grande espaço físico utilizado (RAMACHANDRA, 1999).

Conforme o trabalho de Jacichen (2012), a barbotina é uma solução formada pelo material cerâmico, agentes de suspensão e aditivos possui a seguinte composição genérica: 30% de líquido dispersante (geralmente água), 7% de argila, 28% de caulim, 17,5% de feldspato e 17,5% de quartzo.

Segundo Heinrich e Gomes (2017), assumindo regime estacionário, massa incompressível e desconsiderando qualquer sedimentação, a taxa de crescimento de espessura de parede na peça verde em formação dentro do molde é dada por:

$$dx = \frac{\zeta}{x} dt \quad (1)$$

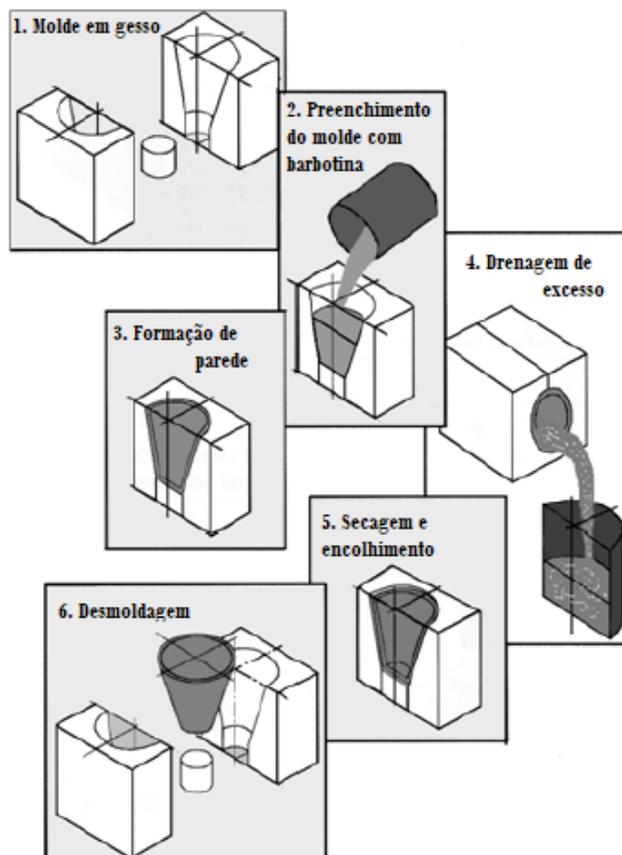
tal que:  $dx$  - taxa de crescimento de espessura de parede

$\zeta$  - constante do material dependente da permeabilidade do molde, volume drenado, percentual sólido em solução e viscosidade (temperatura)

$x$  - espessura de parede

$dt$  - variação de tempo

A técnica consiste em depositar a barbotina homogeneizada em molde poroso de gesso de paris, em que o líquido dispersante da solução vai ser absorvido por capilaridade, formando assim uma parede sólida de espessura que aumenta com o tempo. No caso de peças ocas, alcançada a espessura desejada, então o excesso de suspensão é derramado para fora do molde. Para peças maciças, é necessário aguardar até que toda a cavidade do molde alcance consistência sólida. Na sequência, o molde pode ser aberto e a peça verde removida, passando posteriormente por secagem e cozimento em forno (CALLISTER, 2002). A Figura 2 ilustra as etapas do processo:



**Figura 2 – Etapas do processo de colagem de barbotina**  
**Fonte: Heinrich; Gomes (2017, p. 135).**

A colagem de barbotina oferece acabamento superficial de alta qualidade, densidade satisfatória da peça, assim como homogeneidade e resistência mecânica do produto sinterizado, com possibilidades de moldar geometrias complexas. Implementar uma linha de fabricação artesanal desta natureza implica em pequeno investimento relativo, não exige mão de obra especializada, sendo de fácil treinamento. Os moldes, usualmente de gesso, têm baixo custo, porém, a vida útil costuma ser curta (entre 60 a 100 ciclos) e o gesso não é reciclável (ARAÚJO *et al.*, 2012).

De acordo com a publicação de Berger *et al.* (1990), dependendo da geometria ou cubagem da peça, o tempo de conformação pode ser elevado. Outros fatores que afetam diretamente a secagem são as condições de temperatura e umidade no local de trabalho. Dependendo da combinação dessas variáveis, faz-se necessário o uso

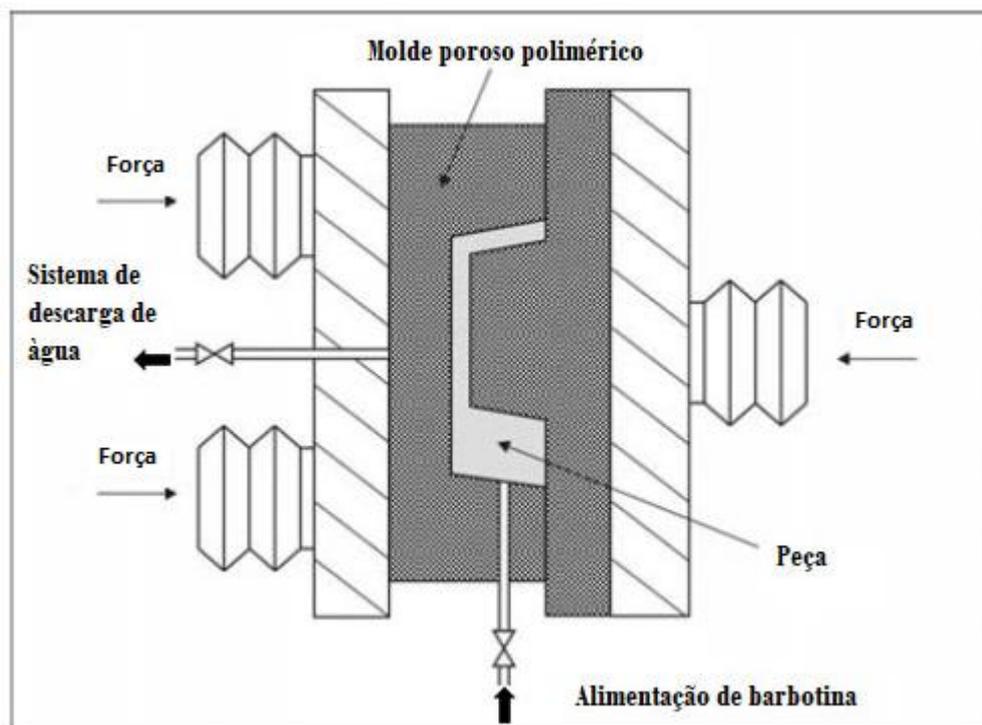
de secadores para a peça verde e principalmente para os moldes, que não podem ficar encharcados, caso contrário, o próximo ciclo de moldagem será prejudicado. A fim de compensar a produtividade, diversos moldes são utilizados, implicando maior área fabril para serviço e armazenagem. Outra problemática da colagem de barbotina é a dificuldade de controle de alguns parâmetros de processo, pois as etapas de fechamento, preenchimento e abertura do molde e principalmente a formação de parede, são dependentes de critérios de avaliação e experiência técnica do responsável, o que torna o processo altamente suscetível à falha humana. Logo, a colagem apresenta diversas limitações, sendo pouco produtiva em maiores escalas.

#### **2.4 Colagem de barbotina sob pressão**

Com o intuito de flexibilizar a produção, aumentar a produtividade, reduzir tempos de processo e perda de material, a colagem sob pressão se vale da automação para reduzir o número e a troca de moldes, baratear a mão de obra, substituindo o material dos moldes tradicionais de gesso por compósitos de resina porosa e polímeros. Embora mais caros, moldes poliméricos apresentam melhores resistência, durabilidade, permeabilidade, uniformidade e precisão da peça, causando menor impacto ambiental ao fim do ciclo de vida.

Além das vantagens acima citadas, a barbotina em excesso retorna ao tanque e pode ser utilizada na injeção seguinte. O ambiente de trabalho torna-se mais limpo, facilitando a etapa de acabamento, que é responsável por gerar muita poeira.

Porém, altos custos de implementação de linha e aquisição de maquinário e mão de obra capacitada estão atrelados à colagem sob pressão, sendo vantajosa apenas em casos de espaço fabril limitado e/ou grandes produções. O processo é simplificado pelo seguinte esquema na Figura 3.



**Figura 3 – Esquema simplificado de colagem sob pressão**  
**Fonte: Adaptado de Heinrich e Gomes (2017, p. 137).**

Duas placas hidráulicamente acionadas fecham o molde polimérico poroso bipartido, com força suficiente para suportar a alimentação sob pressão. A suspensão de barbotina é então alimentada sob pressão no interior do molde, enquanto a porosidade deste permite a retirada de água pelo sistema de drenagem, originando assim a peça verde conformada.

Conforme os estudos de (KRAUS, 1993), a colagem sob pressão encontra a maior problemática no molde utilizado. O tempo de formação de parede é inversamente proporcional à pressão de injeção e à permeabilidade, ou seja, o tempo de vida de um molde depende da distribuição da porosidade e consequente não entupimento dos poros. Ao elaborar um molde que apresente qualidades nas propriedades mecânicas, porosidade e resistência à abrasão, as peças verdes produzidas contarão com precisão dimensional, resistência, densidade e consequentemente, ótimas propriedades após queima, garantindo repetibilidade na produção.

As pressões de enchimento e drenagem aplicadas no molde são determinantes para a otimização da colagem sob pressão, influenciando tanto a peça quanto o molde. A fim de reduzir a segregação durante a formação de parede, evitando efeitos de porosidade e redução de densidade a verde, é possível fazer uso de barbotina floculada associada às corretas pressões de trabalho. Desta forma, é possível obter microestruturas homogêneas, independente da diferença entre os tamanhos do particulado da barbotina (BERGER; SEIDEMANN; BAUMGARTEN, 1990).

Diversos trabalhos e artigos são produzidos a fim de compreender as variáveis do processo de formação de parede na colagem sob pressão de barbotina. Kostic e Gasic (1992) propõe a formação de parede por difusão, em que o gradiente de umidade dos moldes de gesso relaciona-se com a caracterização dos poros. Por outro lado, a lei de Darcy sugere a teoria de formação de parede por filtração. Tal corrente teórica é comumente suportada por Frassek e Hennicke (1989) e baseia-se na Equação (2):

$$V = \frac{1}{A} \frac{dv}{dt} = \frac{k}{\eta} \frac{dP}{dx} \quad (2)$$

tal que:  $V$  - velocidade superficial do escoamento [cm/s]

$A$  - área de filtração [cm<sup>2</sup>]

$\frac{dv}{dt}$  - taxa de volume de líquido filtrado [cm<sup>3</sup>/s]

$k$  - fator de permeabilidade [cm<sup>2</sup>]

$\eta$  - viscosidade do filtrado [mPa.s]

$\frac{dP}{dx}$  - gradiente de pressão ao longo da espessura [Pa/cm]

Segundo Kostic e Gasic (1992), ao considerar a porosidade do molde muito maior do que a porosidade da peça, desconsiderando as perdas de pressão na parede do molde, a velocidade pode ser escrita em função da espessura de parede:

$$x = \sqrt{t} \cdot \sqrt{\frac{2kPc}{\eta(1-n-c)}} \quad (3)$$

em que:  $x$  - espessura de parede [cm]

$k$  - fator de permeabilidade [cm<sup>2</sup>]

$P$  - pressão [Pa]

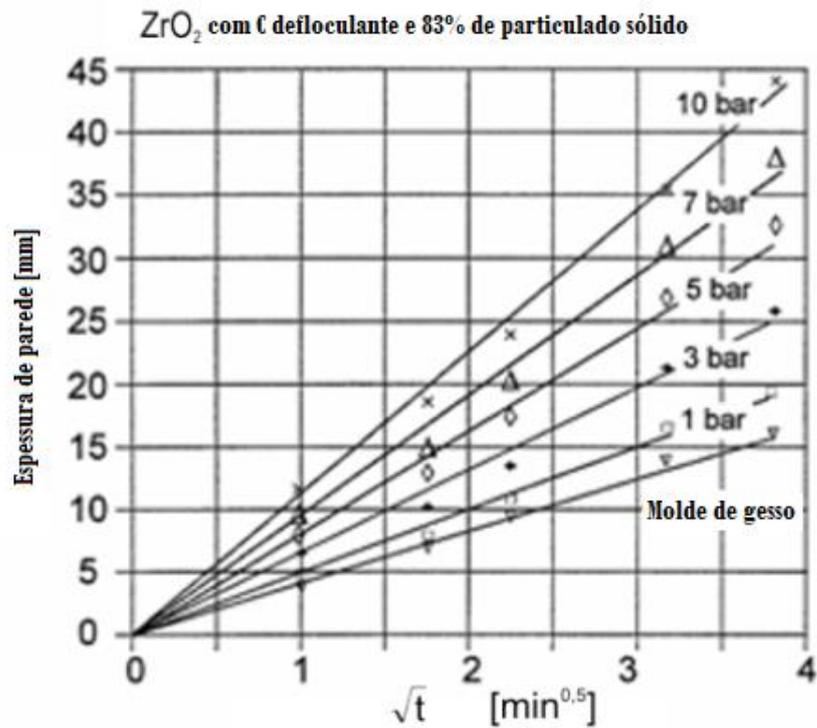
$t$  - tempo [s]

$c$  - concentração percentual de sólidos na barbotina [%]

$\eta$  - viscosidade do filtrado [mPa.s]

$n$  - porosidade percentual do corpo cerâmico [%]

Portanto, a espessura de parede é diretamente proporcional à pressão e à permeabilidade da peça, assim como à raiz quadrada do tempo, caracterizando a lei da difusão. Em contrapartida, variáveis inversamente proporcionais são representadas pela composição da barbotina e a porosidade da peça, observando-se que a viscosidade do filtrado dependente da temperatura da água. Na Figura 4, observa-se a relação entre espessura de camada, tempo e pressões, conforme Equação (2), para composição de barbotina de ZrO<sub>2</sub> com carbono defloculante e 83% de solução sólida em massa.



**Figura 4 – Espessura de camada x tempo x pressão**  
**Fonte: Adaptado de Heinrich e Gomes (2017, p. 137).**

Assumindo-se hipóteses simplificadoras, Kostic e Gasic (1992) consideram a torta (peça verde recém formada no interior do molde) como incompressível, embora a umidade interna permita conformação plástica sob pressão. Assumindo tempos longos e regime estacionário, os autores propõem:

$$\frac{x_{p1}^2}{x_{p2}^2} = \zeta \cdot \frac{P_1}{P_2} \quad (4)$$

em que:  $x_{p1}^2$  - espessura da torta na pressão 1

$x_{p2}^2$  - espessura da torta na pressão 2

$\frac{P_1}{P_2}$  - razão entre pressões 1 e 2

$\zeta$  - constante

Como a viscosidade depende da temperatura, mantendo constantes a pressão de trabalho e a composição da barbotina, a relação entre espessuras de torta variam com as temperaturas em intervalos de tempo regulares:

$$\frac{x^2_{T1}}{x^2_{T2}} = \zeta \cdot \frac{\eta_{T1}}{\eta_{T2}} \quad (5)$$

tal que:  $x^2_{T1}$  - Espessura da torta na temperatura de ensaio  $T_1$

$x^2_{T2}$  - Espessura da torta na temperatura de ensaio  $T_2$

$\eta_{T1}$  - Viscosidade do filtrado na temperatura  $T_1$

$\eta_{T2}$  - Viscosidade do filtrado na temperatura  $T_2$

$\zeta$  - Constante

Relacionando as espessuras de parede com as permeabilidades, Frassek e Hennicke (1989) sugerem que em moldes com diferentes permeabilidades, a razão entre as espessuras de parede no intervalo de tempo é dada por:

$$\frac{x^2_A}{x^2_B} = \zeta \cdot \frac{k_{oA}}{k_{oB}} \quad (6)$$

Sendo:  $x^2_A$  - Espessura de parede para molde A

$x^2_B$  - Espessura de parede para molde B

$k_{oA}$  - Permeabilidade do molde A

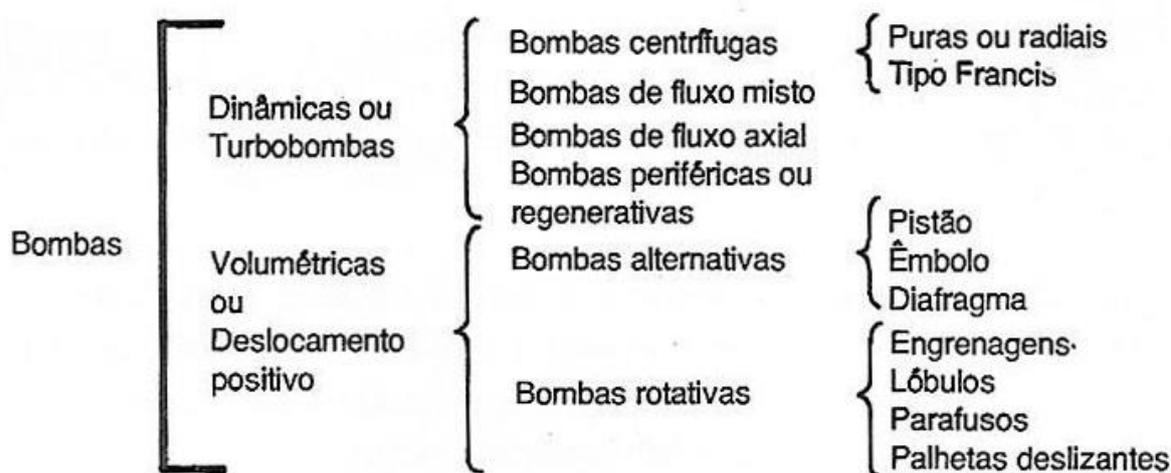
$k_{oB}$  - Permeabilidade do molde B

$\zeta$  - Constante

## 2.5 Bombas para sistemas particulados

No estudo de máquinas de fluido, as máquinas geratrizes são aquelas que recebem trabalho mecânico e transformam em energia hidráulica, acrescentando ao fluido energia em forma potencial e cinética. As bombas hidráulicas estão inseridas neste grupo operacional (MACINTYRE, 1997).

Desta forma, bombas são dispositivos propulsores capazes de ceder energia ao fluido para transportá-lo sob condições específicas de velocidade e pressão. A energia do líquido de trabalho aumenta entre a sucção e o recalque. Na vasta diversidade de aplicações industriais para uso de máquinas de fluxo, adota-se entre diversos autores, uma classificação conforme a Figura 5, baseada no modo com que a energia é transmitida para o fluido (MATTOS; FALCO, 1998).



**Figura 5 – Classificação geral de bombas**

**Fonte: Mattos e Falco (1998, p. 105).**

Para o caso em estudo, destaca-se o tipo de bomba volumétrica ou de deslocamento positivo. Esta, possui uma ou mais câmaras que comunicam-se através de um elemento propulsor, sendo este um pistão, êmbolo ou diafragma. A partícula fluida em contato direto com o órgão propulsor partilha da mesma trajetória

que este, constituindo uma relação constante entre a descarga e a velocidade de bombeamento (MACINTYRE, 1997).

Porém, o estudo de máquinas de fluxo também recomenda a adoção de bombas centrífugas no trabalho com lamas, areias, lodos e sólidos em suspensão. Neste caso, conforme a classificação geral, trata-se do grupo de turbobombas ou dinâmicas, em que o fluido adquire energia a partir da rotação de um impelidor composto por pás. Para as bombas centrífugas, o líquido recebe energia cinética do rotor, que então é convertida em energia de pressão ao passar por um conduto de área crescente, o difusor (MATTOS; FALCO, 1998).

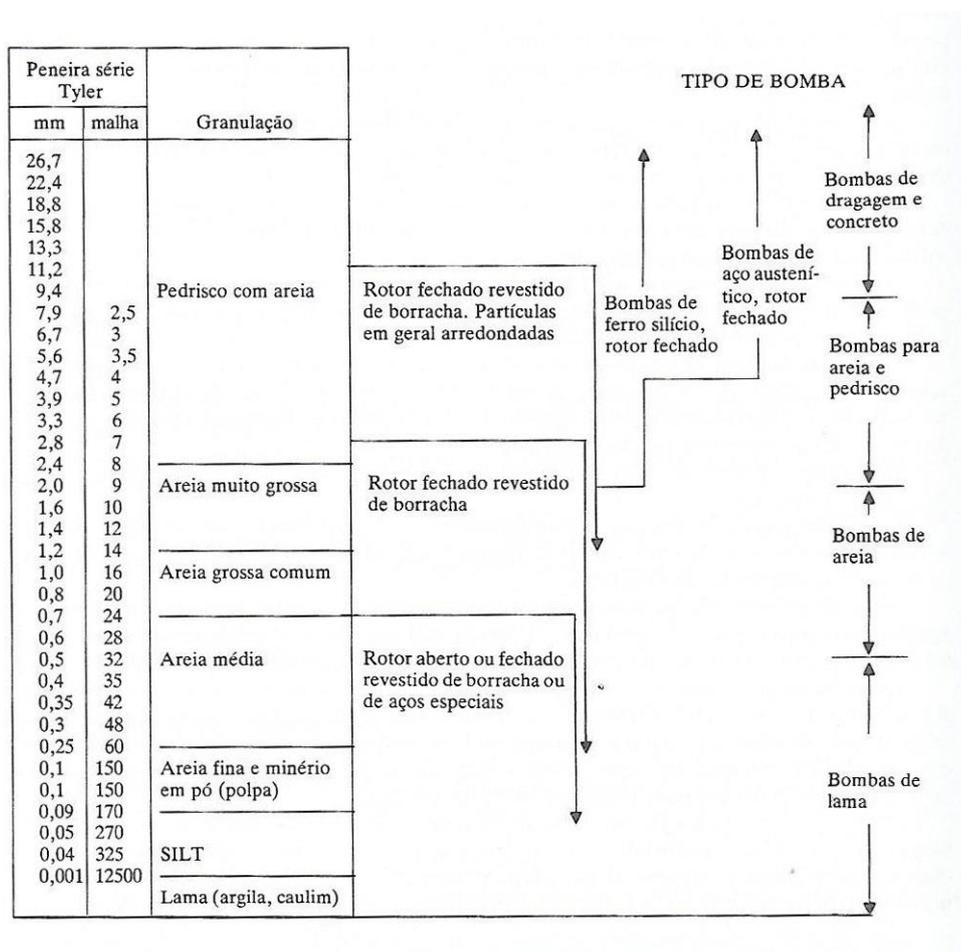
Para a escolha adequada de uma máquina de fluxo, deve-se considerar as seguintes características de trabalho: relação potência/peso, possível desgaste de componentes devido à composição do fluido de trabalho, não contaminação deste pelos lubrificantes, materiais apropriados empregados nos elementos construtivos e vazão desejada no recalque (HENN, 2012).

Com relação às características construtivas das bombas, assim como os materiais empregados, diversas normas como ANSI, ASTM, AISI e ABNT são utilizadas. Em termos gerais, a seguinte relação de empregabilidade de materiais pode ser adotada, conforme a Figura 6.



Uma vez que se trabalha com sólidos em suspensão (barbotina), as bombas centrífugas confeccionadas com os materiais corretos devem oferecer considerável resistência à abrasão, apresentando desgaste reduzido de componentes e fácil substituição de possíveis peças degradadas. As especificações técnicas variam dependendo da densidade e granulometria da solução de trabalho, assim como as condições de operação (MACINTYRE, 1997).

A Figura 7 mostra a relação entre a granulação do material bombeado e o tipo de bomba adequado em cada caso.



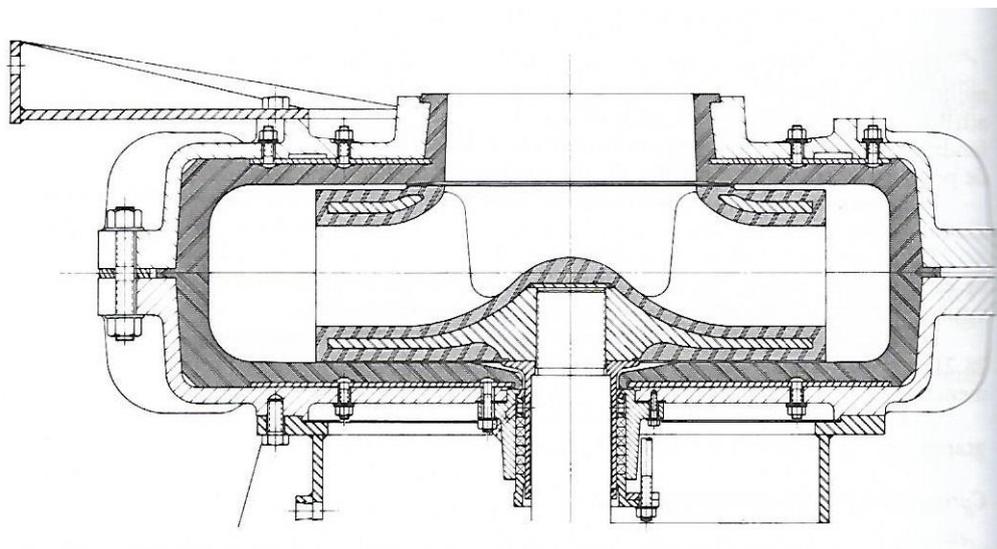
**Figura 7 – Tipos de bombas em relação ao particulado em suspensão**

**Fonte: Macintyre (1997, p. 582).**

Para bombeamento adequado de soluções com particulado abrasivo, as bombas centrífugas são construídas com revestimentos compostos por borrachas endurecidas, neoprene, nitrilo, hypalon e ligas metálicas, como aço-níquel, aço-

cromo, aço-cromo-níquel, ferro fundido silicoso ou aço manganês austenítico (MACINTYRE, 1997).

A Figura 8 apresenta o corte de uma bomba Worthington Modelo R, demonstrando a composição de revestimentos protetores da carcaça e do rotor.



**Figura 8 – Revestimento interno de carcaça e rotor**

**Fonte: Macintyre (1997, p. 584).**

O estudo em vigência trata de solução de particulado de barbotina, que deve ser bombeada através do sistema da UCLP até o molde. Considerada uma suspensão de baixa densidade (valor médio de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ ), logo uma mistura abrasiva fina, na situação de escoamento laminar, apresenta perdas de carga expressivas em comparação à água. Porém, em regime turbulento, essa diferença desaparece e as perdas de carga são semelhantes. Para baixas concentrações de particulado fino, as propriedades plásticas desaparecem e altas velocidades de bombeamento aproximam a viscosidade da suspensão à da água, garantindo que não ocorra deposição de sólidos no sistema e na tubulação (MACINTYRE, 1997).

Quanto ao acionamento de bombas centrífugas, recomenda-se utilização de motores de rotação variável ou no caso de rotação constante, associar um variador de velocidade. Para suspensões sólidas, as rotações costumam ser baixas, na faixa de 700 a 900 rpm, atenuando desgaste abrasivo nos componentes. A potência de

bombeamento varia linearmente com o peso específico do fluido, sendo indicado dispor de uma folga de 30% no valor calculado (MACINTYRE, 1997).

### 2.5.2 Bomba diafragma

O princípio de funcionamento de bombas alternativas (também conhecidas por bombas de êmbolo ou bombas recíprocas) reside na ação do pistão ou êmbolo, que primeiramente produz vácuo no interior de uma câmara, realizando assim a sucção do fluido para o interior desta. Na sequência, a válvula de recalque (fechada durante a aspiração) abre e o fluido é expulso pelo agente propulsor, gerando um comportamento intermitente de fluxo, com perfis de pressão cíclicas e alternadas (MACINTYRE, 1997).

No caso da bomba de diafragma, um elemento elástico, composto de borracha, plástico ou metal, trabalha na propulsão de líquido. O material do órgão propulsor é escolhido com base na composição do fluido bombeado. O acionamento da bomba é realizado de forma mecânica, hidráulica ou pneumática (HENN, 2012).

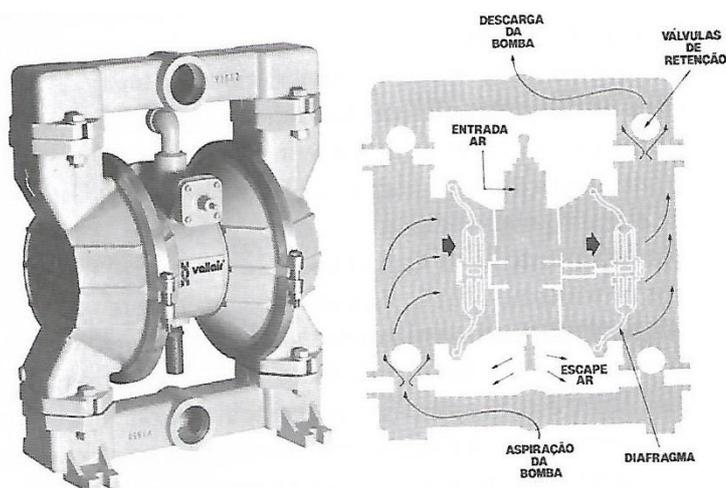
A principal vantagem da bomba diafragma é sua aplicação a fluidos com sólidos abrasivos, produtos químicos tóxicos, corrosivos e ampla faixa de viscosidade. Tais fluidos causariam desgaste em uma bomba alternativa de pistão, prejudicando o acabamento superficial do órgão propulsor e do cilindro (HENN, 2012). Ademais, riscos de vazamentos são eliminados, pois não são utilizadas gaxetas na montagem do conjunto e não há contato entre fluido e sistema de acionamento (MACINTYRE, 1997).

As desvantagens residem no fato de cada tipo de fluido necessitar de um material adequado de diafragma, tornando a bomba restrita à determinado líquido. Um órgão propulsor resistente à uma solução, pode ser atacado facilmente por outra. Por serem bombas de volume determinado, sua capacidade e altura manométrica são limitadas, necessitando de válvulas na sucção e no recalque para melhor funcionamento e controle (MACINTYRE, 1997).

Operando em faixas de pequenas e médias vazões (0,2 a 300 m<sup>3</sup>/h) e pressões (0,1 a 40 MPa), as bombas diafragma são aplicadas em casos que priorizam a dosagem de processo, sendo a vazão de recalque regulada pelo curso do

diafragma, movido pela alimentação de ar comprimido (caso de acionamento pneumático) (HENN, 2012).

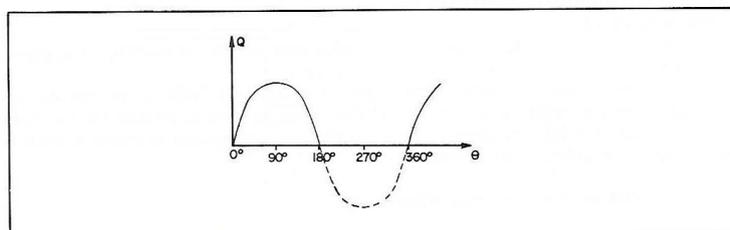
Na Figura 9, é mostrado o esquema de funcionamento de uma bomba diafragma com acionamento pneumático.



**Figura 9 – Esquema de bomba diafragma**

**Fonte: Henn (2012, p. 431).**

Devido à descarga intermitente, a vazão instantânea é variável na bomba diafragma, apresentando-se por uma senóide, em que o trecho pontilhado representa o estágio de sucção, conforme a Figura 10.



**Figura 10 – Vazão instantânea X ângulo de rotação**

**Fonte: Mattos; Falco (1998, p. 451).**

Matematicamente, tem-se:

$$Q_i = \frac{\pi D^2}{4} \cdot V_a \quad (7)$$

em que:  $Q_i$  - vazão instantânea [m<sup>3</sup>/s]

$D$  - diâmetro do êmbolo [m]

$V_a$  - projeção da velocidade periférica na direção axial [m/s]

Sendo a projeção da velocidade periférica  $V_a$  na direção axial dada por:

$$V_a = w \cdot R \cdot \text{sen}\theta \quad (8)$$

tal que:  $V_a$  - projeção da velocidade periférica na direção axial [m/s]

$w$  - velocidade angular [rad/s]

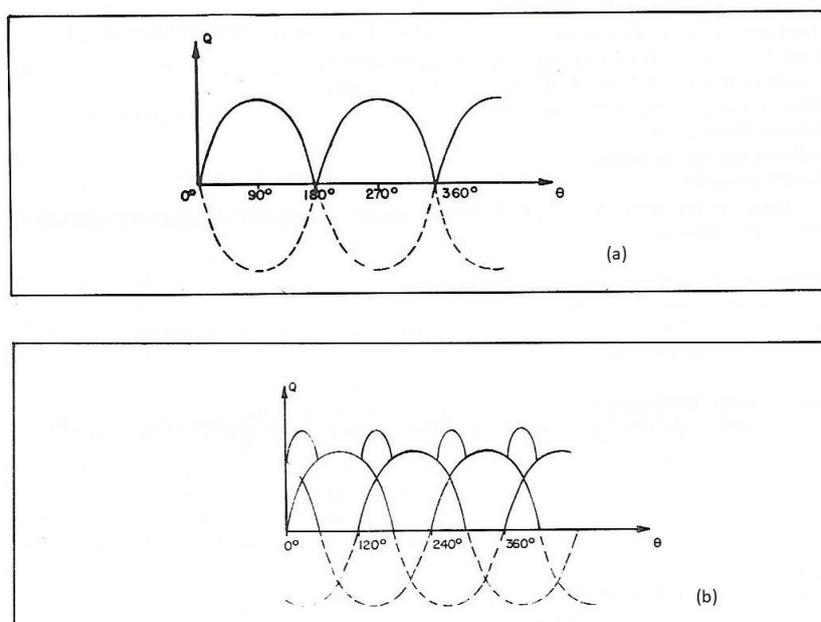
$R$  - raio de atuação do órgão propulsor [m]

$\theta$  - ângulo de rotação [rad]

Aplicando (8) em (7), tem-se:

$$Q_i = \frac{\pi D^2}{4} \cdot w \cdot R \cdot \text{sen}\theta \quad (9)$$

Para evitar o efeito da intermitência ou golfadas no recalque, aplicam-se amortecedores de pulsação ou cilindros operando com defasagem. Para o efeito de dois ou três cilindros defasados, as curvas resultantes do fluxo atenuado estão apresentadas nas Figura 11(a) e 11(b) respectivamente.

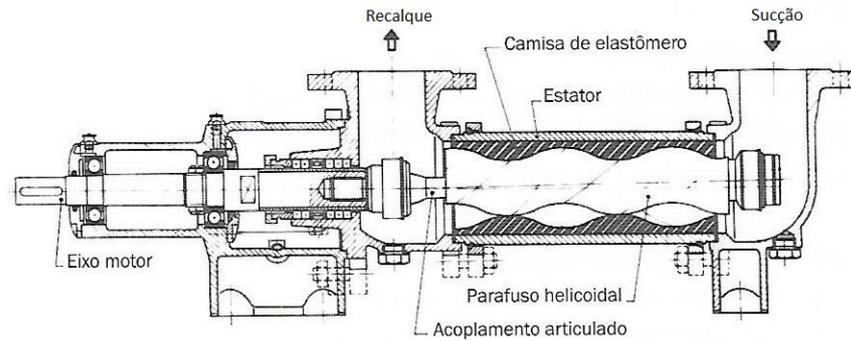


**Figura 11 – Efeitos de atenuação da vazão**  
**Fonte: Adaptado de Mattos; Falco (1998, p. 451).**

### 2.5.3 Bombas helicoidais

Conhecidas também por bomba de parafuso único ou bomba de cavidades progressivas, este modelo é apto a trabalhar com fluidos de até 110000 cSt, de constituição pastosa, fibrosa ou elevado teor de sólidos em suspensão. A vazão pode ser controlada com a variação da velocidade do motor de acionamento. O rotor apresenta configuração em forma de parafuso helicoidal, encapsulado por um estator cilíndrico revestido por uma camisa de material elastômero/polimérico, caracterizado de acordo com a composição do líquido a ser bombeado (HENN, 2012).

A Figura 12 exemplifica o esquema de funcionamento de uma bomba helicoidal:



**Figura 12 – Corte de bomba helicoidal**  
**Fonte: Adaptado de Henn (2012, p. 440).**

O passo da hélice transporta o fluido através do estator, sendo a vazão recalçada dada por:

$$Q_h = 120 \cdot N \cdot D_e \cdot (D_e - D_i) \cdot T \quad (10)$$

em que:  $Q_h$  - vazão da bomba helicoidal [m<sup>3</sup>/s]

$N$  - velocidade de rotação do rotor [rpm]

$D_e$  - diâmetro exterior da hélice do parafuso [m]

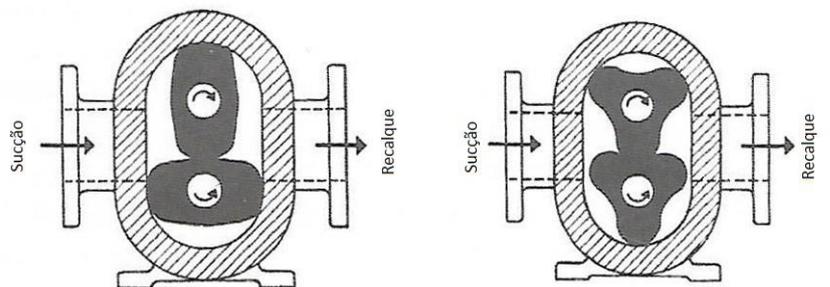
$D_i$  - diâmetro da raiz da hélice do parafuso [m]

$T$  - passo da hélice do rotor [m]

#### 2.5.4 Bombas de lóbulos

Modelos apropriados para bombeamento de particulado e líquidos viscosos, com pressões máximas de 1,5 MPa, vazões de 1 a 250 m<sup>3</sup>/h e rotações de 100 a 1000 rpm. O fluido desloca-se suavemente pela interação dos lóbulos dos rotores, que giram em sentidos opostos e fornecem energia para o recalque. A folga entre os lóbulos deve ser a menor possível, apropriada para a composição do líquido, de forma a trabalhar sem desgastar as superfícies em contato (HENN, 2012).

A Figura 13 mostra duas configurações possíveis de bombas de lóbulos:



a) Bomba rotativa de dois lóbulos

b) Bomba rotativa de três lóbulos

### Figura 13 – Corte de bomba de lóbulos

Fonte: Adaptado de Henn (2012, p. 441).

A vazão de um modelo de lóbulos é dada por:

$$Q_l = K_l \cdot (D_l^2 - E^2) \cdot b_l \cdot N \cdot \eta_l \quad (11)$$

em que:  $Q_l$  - vazão da bomba de lóbulos [m<sup>3</sup>/s]

$K_l$  - constante que depende da geometria do rotor e do número de lóbulos [adimensional]

$D_l$  - diâmetro exterior do rotor [m]

$E$  - distância entre centros dos rotores [m]

$b_l$  - largura do rotor [m]

$N$  - velocidade de rotação do rotor [rps] ou [Hz]

$\eta_l$  - rendimento volumétrico da bomba de lóbulos [adimensional]

O rendimento volumétrico varia de 0,7 a 0,8, apresentando maiores valores para rotores de três lóbulos se comparado à rotores de dois lóbulos. Os modelos mais utilizados possuem lóbulos triplos, aplicados a bombeamento de produtos químicos, líquidos lubrificantes e não lubrificantes de ampla faixa de viscosidade (MACINTYRE, 1997).

## 2.6 CLP

De acordo com Negri (2001), os projetos de CLP (Controle Lógico Programável) apresenta-se na forma de funções lógicas, gráficas ou diagramas lógicos e de contatos. Os componentes responsáveis pela captação de dados de entrada são chaves, interruptores, bobinas, contadores, conectores, relés e sensores, enquanto as saídas ativam solenoides de válvulas direcionais. A programação é feita através de teclado ou por interface própria para uso em computador, utilizando comunicação serial.

Neste caso, o computador desempenha importante função, configurando, programando e verificando erros de linguagem, integrando lista de instruções, diagrama de blocos, diagrama de contatos ou até mesmo o GRAFCET (diagrama funcional).

Na central de processamento lógico utilizada no protótipo em estudo, é possível programar através da linguagem *ladder*. Segundo Jacichen *et al.* (2012), o CLP permite controle e flexibilidade de entradas e saídas de dados, pois a programação é intuitiva e versátil, permitindo que alterações físicas nos componentes e funcionamento na máquina seja facilmente implementadas no programa.

Realizando ligações de entradas e saídas de dados, a lógica *ladder* é executada, através de álgebra booleana. Como cada fabricante faz uso de simbologia própria, a Figura 14 demonstra os sinais particulares na lógica da máquina, com a seguinte descrição no Quadro 1:

	1		5
	2		6
	3		7
	4		8

**Figura 14 – Simbologia específica do CLP**  
**Fonte: Jacichen et al. (2012, p. 2584).**

Componente	Descrição
#1	contator NA (Normalmente Aberto)
#2	contator NF (Normalmente Fechado)
#3	relé ativa elemento com sinal positivo
#4	relé Set (mantém elemento ativo mesmo após sinal cessar)
#5	relé Reset (oposto ao Set)
#6	relé Display (na tela)
#7	relé Clear (na tela)
#8	temporizador do tipo TON

**Quadro 1 – Descrição de símbolos do CLP**

**Fonte: Autoria própria.<sup>1</sup>**

Na seção 3.2 deste trabalho, é apresentado o diagrama ladder do programa atual do protótipo, além de uma breve explicação sobre seu funcionamento. Sistemas CLP são vantajosos devido à flexibilidade, pois alterações são feitas apenas no programa, ao passo que sistemas pneumáticos e eletropneumáticos equivalentes incorrem na modificação física de componentes e canalizações, envolvendo custos adicionais com componentes e tempo de serviço estendido.

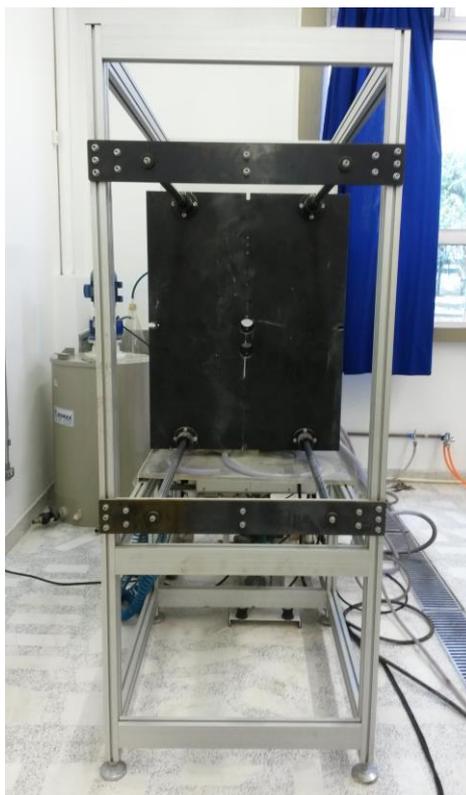
<sup>1</sup> Ilustrações e tabelas sem indicação de fonte são de Autoria Própria.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Avaliação do estado atual da UCLP

Primeiramente foram identificados os problemas a serem resolvidos, com elaboração de propostas em manutenção e modificação necessárias para operação apropriada da UCLP. Trabalhos já realizados pela equipe de cerâmicas da UTFPR – Campus Curitiba estabelecem diretrizes e sugerem os próximos trabalhos realizáveis na máquina.

O protótipo encontra-se atualmente no Laboratório de Materiais Alternativos da UTFPR Campus Curitiba, Sede Ecoville. Ali, divide espaço com o misturador (tambor cinza ao fundo, à esquerda da máquina) conforme ilustra a Figura 15.



**Figura 15 – UCLP pré-trabalhos**

### 3.2 Funcionamento da UCLP

Segundo Araújo *et al.* (2012), o protótipo da Unidade de Colagem de Louça sob Pressão limita sua produção a estimados 20 ciclos/hora, por ser um processo semiautomático e possuir pressão máxima projetada de 7 bar (0,7 MPa), enquanto máquinas importadas similares no mercado são 100% automáticas e operam no mínimo a 20 bar (2 MPa) de pressão.

A máquina de colagem sob pressão de peças cerâmicas possui atualmente os seguintes componentes na área de injeção:

- a) Placas de Suporte – duas placas paralelas para fechamento do molde, sendo uma fixa e outra móvel. Elas são suportadas por Colunas Guias e presas pelas Barras Rosqueadas. Há furos para fixação das lexas (presilhas). Na placa fixa, encontram-se duas aberturas para passagem da Mangueira de Injeção.
- b) Espuma de Base – dispositivo que suaviza a pressão exercida no molde.
- c) Lexas – presilhas que auxiliam na fixação do molde.
- d) Molde/Dispositivo – fixados com apoio da Espuma de Base nas Placas de Suporte.
- e) Barras Rosqueadas – barras com fuso que atravessam as duas Placas de Suporte, fixadas por porcas e arruelas.
- f) Colunas Guia – colunas que permitem o deslocamento da Placa de Suporte móvel.
- g) Mangueira de Ligação com o Tanque – liga a hidráulica geral com o misturador. Permite o fluxo de barbotina, alimentando sentido molde e esgotando o excesso sentido tanque.
- h) Mangueira de Retorno – realiza limpeza interna da máquina.
- i) Mangueira de Injeção – conecta a geral da hidráulica com o molde, alimentando-o com barbotina.
- j) Pares de Mangueiras Pneumáticas – injetam ar comprimido e aplicam vácuo no molde, controladas pelas válvulas.

A Figura 16 mostra a área de injeção e os componentes acima citados.



**Figura 16 – Vista lateral da UCLP pré-trabalhos**

Os componentes anexos que integram máquina são mostrados nas Figura 17 e Figura 18, sendo descritos brevemente abaixo:

- a) Misturador – Marca Bomax do Brasil, modelo Agimax F 075M 4E015R 250.  
Tanque plástico motorizado para misturar suspensões. Acionado pelo Seletor 9 do Comando.
- b) Compressor – Marca Pressure, Modelo Wind Pressure R150.  
Recipiente armazenador para suprir a necessidade de ar comprimido da máquina. Acionado pelo Seletor #12 do Comando.
- c) Bomba a vácuo – Marca VOGES, modelo BK71B4/C2.

Bomba pneumática fazendo uso de Kitassato improvisado para armazenar água absorvida pelo molde. Acionada pelo Seletor #11 do Comando.

d) Bomba Diafragma – Marca NETZSCH, modelo N1FB1/1WANS100.

Impulsiona barbotina para o molde, alimentada pelo compressor. Ativada pelo Botão #6 do Comando.

e) CLP – Marca OMRON, modelo 20C1AR-A-V2.

Componente físico da interface ZEN (Painel #13).

f) Kitassato – frasco vítreo no qual são armazenados fluidos advindos do molde.



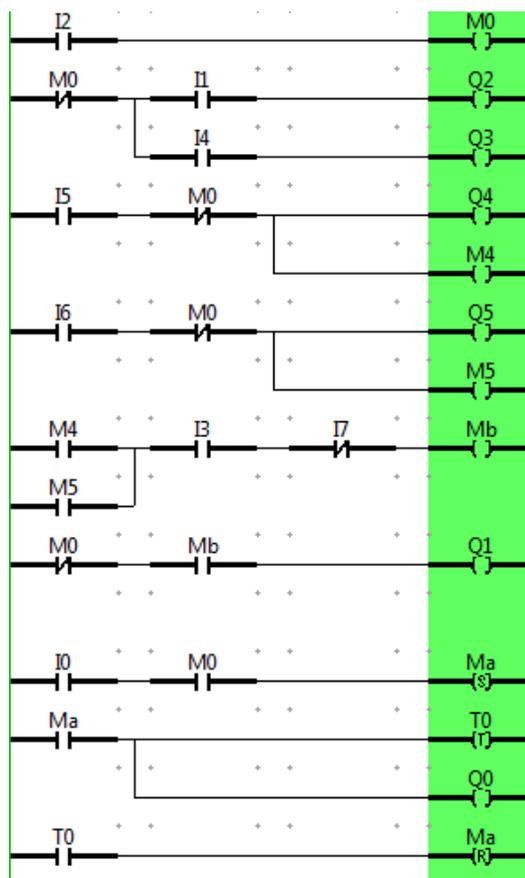
**Figura 17 – Vista frontal da UCLP pré-trabalhos**



**Figura 18 – Componentes hidropneumáticos da UCLP**

A UCLP possui programação automática em CLP (Controlador Lógico Programável) programa em linguagem *ladder*, baseado em lógica de relés, acionado pelo operador através do aparelho Zen, modelo 20C1AR-A-V2) da marca OMROM™. O componente contém 12 entradas e 8 saídas. O programa possui 93 linhas disponíveis, das quais 75 foram escritas e 18 linhas estão em branco para futuros ajustes. Caso necessário, há *backup* do arquivo original de fábrica.

A Figura 19 mostra o diagrama *ladder* atual em uso na máquina, de modo que a simbologia para referência pode ser verificada na Figura 14 e no Quadro 1.



**Figura 19 – Diagrama Ladder atual do CLP da máquina**  
**Fonte: Jacichen (2012).**

A Figura 20 mostra o painel de comando que serve de interface máquina usuário. Na sequência, a Figura 21 traz um esquema representativo dos componentes de comando do painel, formado por lâmpadas, botões, seletores, válvulas de acionamento manual e uma interface de comunicação operador-máquina. O texto na sequência das figuras indica as funções de cada elemento.



Figura 20 – Painel de controle e operação



Figura 21 – Esquema do painel de controle

Componentes de Comando:

- 1 - Lâmpada indicadora “Ligado/Desligado”;
- 2 - Tampa do espaço reserva - em caso de adição de componente;
- 3 - Seletor dos modos “Manual/Automático”;
- 4 - Botão “Start” - inicia processo automático;
- 5 - Botão “Ar Comprimido” - ejeta pressão nas mangueiras pneumáticas;
- 6 - Botão “Barbotina” - manter pressionado para ativar a Bomba Diafragma, que lança solução no sistema através da Mangueira de Ligação com o Tanque;
- 7 - Seletor “Tanque/Molde” - seleciona o sentido do fluxo de barbotina;
- 8 - Lâmpada indicadora “Compressor Falha” - indica o relé térmico do Compressor, acende em caso de falha;
- 9 - Seletor “Misturador” - não possui conexão com a interface ZEN, não está automatizado e pode ser utilizado com a interface ZEN desligada;
- 10 - Lâmpada indicadora “Compressor” - indica que o relé térmico do Compressor não foi disparado, podendo ser ativado normalmente;
- 11 - Seletor “Liga Vácuo” - liga o motor da bomba a vácuo;
- 12 - Seletor “Liga Compressor” - liga o motor do compressor;
- 13 - Painel da Interface ZEN - central lógica do programa para entrada de parâmetros do processo automático;
- 14 - Válvulas de ar comprimido - controlam o fluxo de ar nos pares de mangueiras pneumáticas.

Na configuração atual, quatro operações automáticas são controladas pela central lógica:

- a) Alimentação de barbotina;
- b) Esgotamento do excesso contido no molde (em caso de peça oca injetada);
- c) Aplicação de vácuo junto à injeção;

d) Ejeção por ar comprimido.

Verifica-se nesta última operação, a necessidade de um comando confirmativo do operador para abrir as placas enquanto se realiza a operação, pois há risco de queda da peça verde e, no pior caso, acidente de trabalho devido à alta pressão.

A Entrada #17 do CLP (manômetro controlador da pressão de barbotina) encontra-se sempre ativada (NA), até que o problema seja solucionado, porém no programa proposto inicialmente, trata-se de um contato (NF), tornando impossível ativar outros comandos.

Mangueiras para fluxo da barbotina são conectadas através dos furos das placas ou pela parte inferior do molde (peças ocas). O sentido do fluxo pode ser invertido, fazendo com que a suspensão retorne ao tanque por gravidade, no caso de injeção de peças ocas/vazadas.

Na seção ANEXOS é possível visualizar o fluxograma de funcionamento da máquina, dividido em três etapas:

ANEXO A – Etapa 1 – Preparação para injeção;

ANEXO B – Etapa 2 – Sistema Automático;

ANEXO C – Etapa 3 – Ciclo de Encerramento.

Em caso de sobre pressão no sistema, o pressostato desativa a bomba diafragma.

Por tratar-se de um protótipo com fins acadêmicos, a máquina não se enquadra nas NRs em termos de segurança operacional, sendo limitada a uso restrito e supervisionado.

### **3.3 Possibilidades de otimização operacional da UCLP**

Após a ser feita uma avaliação inicial, algumas deficiências de ordem técnica no funcionamento do protótipo foram observadas:

a) Falta de controle para a bomba à vácuo;

- b) Falta de controle no misturador de barbotina;
- c) Falta de tanque de equalização;
- d) Falta de controle de pressão/vazão na injeção de barbotina;
- e) Falta de controle de pressão de ar comprimido no molde;
- f) Falta de componentes para controlar as placas;
- g) Manômetro aparenta não estar bem regulado;
- h) Problemas de serviço com a bomba diafragma (possível troca por outro modelo com princípio de funcionamento diferente);
- i) Substituição do Kitassato improvisado.

A automação do processo depende da aplicação de novos sensores, instalação de componentes hidráulicos e controladores eletromecânicos, cujo controle dos parâmetros assegura precisão e confiabilidade. Tais melhorias permitem a elaboração de cálculos para padronizar a alimentação de barbotina.

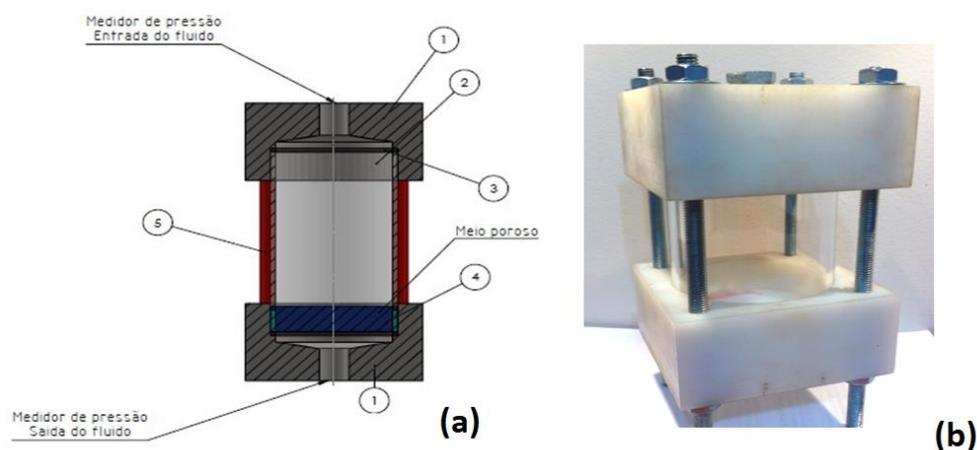
Assim que tais problemas sejam resolvidos, existem melhorias futuras cuja possibilidade de implementação no projeto será avaliada, tais como:

- j) Testes de colagem sob pressão e formação de parede cerâmica;
- k) Pistões hidráulicos para controle das placas;
- l) Novas entradas de parâmetros de processo;
- m) Programação do processo automático;
- n) Fluxograma do processo automático;
- o) Alterações do programa *Ladder* com novas etapas e interfaces para o operador;
- p) Automação da retirada da peça verde do molde;
- q) Adaptações para uso de moldes com mais de duas partes;
- r) Desenvolvimento de um manual atualizado com todas alterações;
- s) Injeção em novos moldes desenvolvidos por trabalhos conjuntos.

### 3.4 Possibilidades de modificações e testes em aparato simulador de molde

Após implementadas as modificações necessárias, a UCLP será testada utilizando primeiramente água e depois uma suspensão cerâmica, com características de uso comercial. Através de um dispositivo transparente que funcionará como simulador de molde, o fluxo de entrada de barbotina e a taxa de formação de parede podem ser observados, assim como outros parâmetros operacionais. A Figura 22 mostra a vista em corte e o modelo real deste dispositivo.

Conforme Paluch (2015), o esquema do aparato marca em #1 as tampas de entrada e saída do fluido, #2 é o anel de vedação, #3 é um ressalto polimérico, #4 é a amostra estudada e #5 os pinos guia para fixação.



**Figura 22 – Aparato (a) corte transversal (b) primeiro modelo concebido**  
**Fonte: Adaptado de Lirman, 2012.**

As amostras de resina epóxi porosa testadas neste trabalho, foram confeccionadas conforme as composições da Tabela 2.

**Tabela 2 – Composição de amostras de resina epóxi utilizadas nos testes com permeâmetro**

Composição	Resina	Agente de cura	Tween 80	Carga Mineral	Carbonato de Amônia
1	100%	20%	0%	30%	2%
2	100%	20%	5%	30%	2%
3	100%	20%	0%	30%	10%
4	100%	20%	5%	30%	10%
5	100%	20%	0%	30%	6%
6	100%	20%	2,5%	30%	6%
7	100%	20%	5%	30%	6%

Fonte: PALUCH, 2015

### 3.5 Modelagem em CAD e Projeto mecânico da UCLP

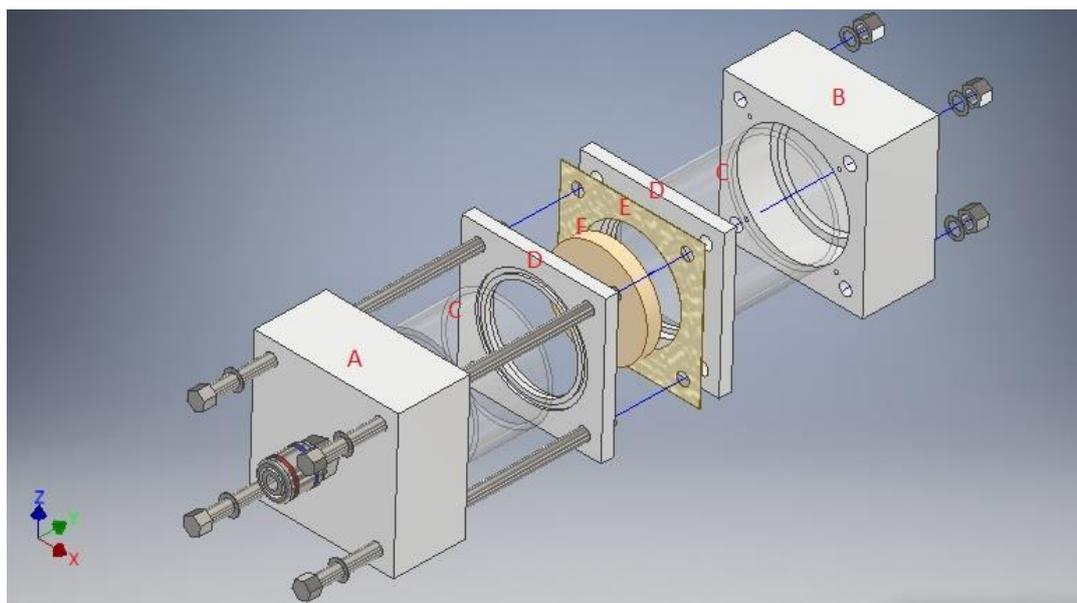
Para posterior modelagem em CAD, será utilizado o *software* Autodesk Inventor© 2018. As configurações atuais do protótipo, assim como suas dimensões e componentes, serão representados separadamente e montados no *assembly* do conjunto. No caso de alterações e trocas de componentes que obtenham resultados satisfatórios e otimizem o funcionamento da UCLP, a configuração final servirá de modelo para o projeto mecânico.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Dispositivo simulador de molde

Conforme previsto na seção 3.4, a fim de realizar testes prévios na UCLP sem um molde de resina, adequado à colagem de barbotina sob pressão, foram implementadas modificações no aparato medidor de permeabilidade atual (Figura 22). A solução proposta resumiu-se à fabricação de um porta amostras, usinado em nylon, com medidas referenciadas ao permeâmetro existente e às amostras produzidas no NPT, de forma que todos os diâmetros existentes possam ser testados.

A Figura 23 traz o projeto do novo dispositivo medidor de permeabilidade:



**Figura 23 – Projeto de permeâmetro**

No projeto CAD, identificam-se os seguintes componentes:

A – tampa superior (injeção de ar comprimido)

B – tampa inferior (escape)

C – copos de acrílico

D – porta amostras

E – junta dupla de EVA (espuma vinílica acetinada)

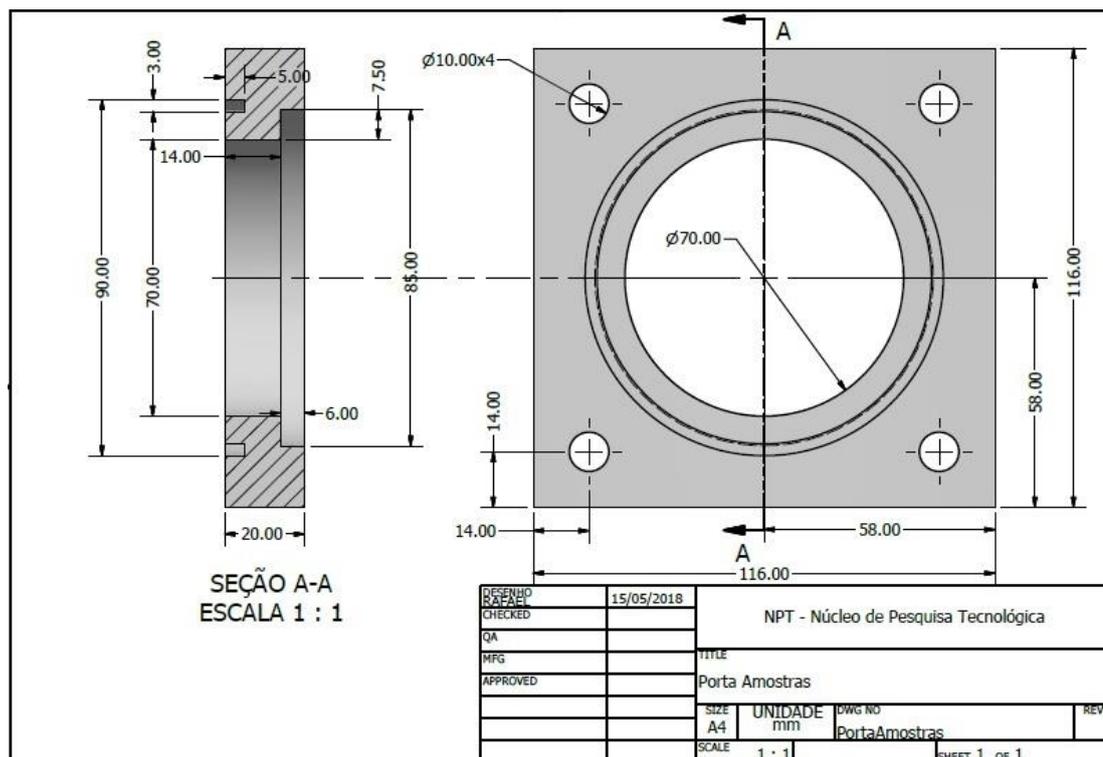
F – amostra porosa

Feito o projeto, os materiais para confecção do dispositivo foram cotados e comprados, conforme notas fiscais do ANEXO D. O resumo de custos de material e mão de obra das modificações implementadas no permeâmetro são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Resumo de custos em melhorias implementadas no aparato medidor de permeabilidade**

<b>MATERIAL/SERVIÇO</b>	<b>CUSTO</b>
<b>TUBO DE ACRÍLICO</b>	R\$ 200,00
<b>ANÉIS DE VEDAÇÃO</b>	R\$ 5,00
<b>PAPELÃO HIDRÁULICO E BUNAS</b>	R\$ 30,55
<b>PLACAS DE NYLON</b>	R\$ 32,00
<b>ANÉIS PBK</b>	R\$ 30,00
<b>MÃO DE OBRA – TORNEARIA</b>	R\$ 200,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 497,55</b>

O tubo de acrílico selecionado, devido ao alto custo e disponibilidade no mercado, foi um tubo de acrílico cristal PMMA 90 x 84 x 1000 mm, cuja espessura comercial de 3 mm definiu algumas medidas na concepção do porta amostras. Este, projetado conforme a Figura 24 e usinado em nylon, teve como parâmetros iniciais: as peças já existentes, a espessura do copo de acrílico e os diâmetros de amostras existentes.



**Figura 24 – Projeto de porta amostras**

Adquiridas as vedações comerciais, a maioria funcionou no estancamento do conjunto, quando carregado com a amostra, água e aplicação de pressão. O papelão hidráulico de folhas duplas de 4 mm, colocado entre as placas de nylon do porta amostras, apresentou vazamento de água com formação de bolhas de ar, mediante 2 bar de pressão. A solução para este problema foi a troca das juntas de papelão hidráulico por juntas de EVA crespo.

No entanto, os anéis comerciais em contato com a amostra porosa não apresentaram estanqueidade satisfatória, incorrendo em gotejamentos na periferia das amostras. Foram realizados cortes artesanais nas peças, buscando combinar e adequar o sistema para vedação completa, conforme Figura 25. Todos os testes falharam.



**Figura 25 – Anéis comerciais testados e adaptados no porta amostras**

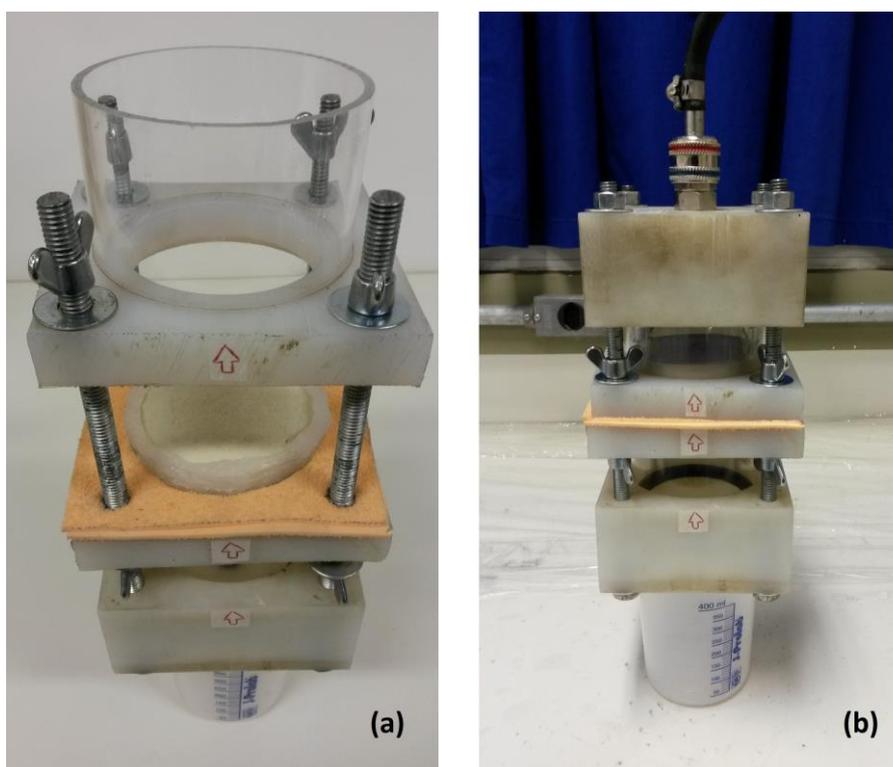
Optou-se por fabricar artesanalmente um anel de silicone acético incolor que encapsulasse a amostra dentro do porta amostras. É possível observar os anéis produzidos sob medida na Figura 26.



**Figura 26 – Anéis artesanais de silicone acético feitos sob medida**

Os testes com água, utilizando anéis de silicone acético, obtiveram êxito na vedação completa do conjunto, sob condições de pressão variável, desde a

ambiente até 2 bar de ar comprimido injetado na câmara superior, conforme a Figura 27 (b). A amostra mostrou-se permeável apenas sob pressão, permitindo a passagem de água pelos poros, resultando em água tingida em tom amarelado coletada no recipiente inferior. A montagem do conjunto é apresentada na Figura 27.



**Figura 27 – Montagem do permeâmetro. (a) Permeâmetro aberto, com amostra circunscrita por anel de silicone. (b) Permeâmetro pronto para teste**

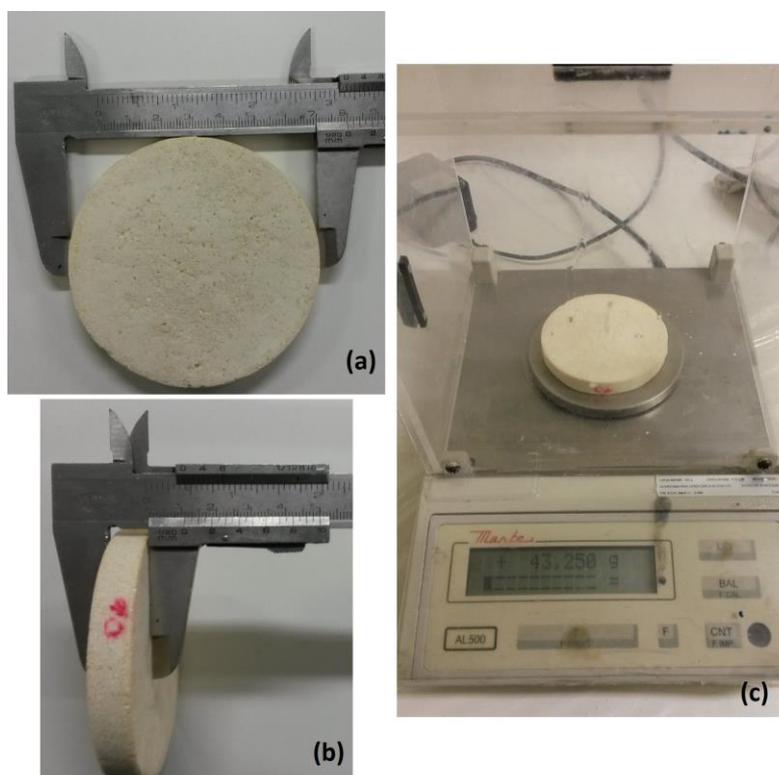
Na etapa seguinte, a água foi substituída por solução comercial de barbotina marfim líquida, da marca Pascoal, adquirida na quantia de 30 kg, em fornecedor local, no custo de R\$ 3,45/kg. Conforme os dados do fabricante (PASCHOAL, 2018), a barbotina marfim, própria para queima entre 800°C e 1300°C, pode ser utilizada para fabricação de peças em torno, modelagem ou moldagem, com boa velocidade de deposição, fácil destaque, satisfatória resistência mecânica a verde. Após sinterização, a contração relativa da peça a verde à sinterizada varia de 14 a 16% à 1300°C. Exemplos das colorações obtidas pós queima apresentam-se na Figura 28.



**Figura 28 – Cores obtidas após sinterização**  
**Fonte: Adaptado de Paschoal, 2018.**

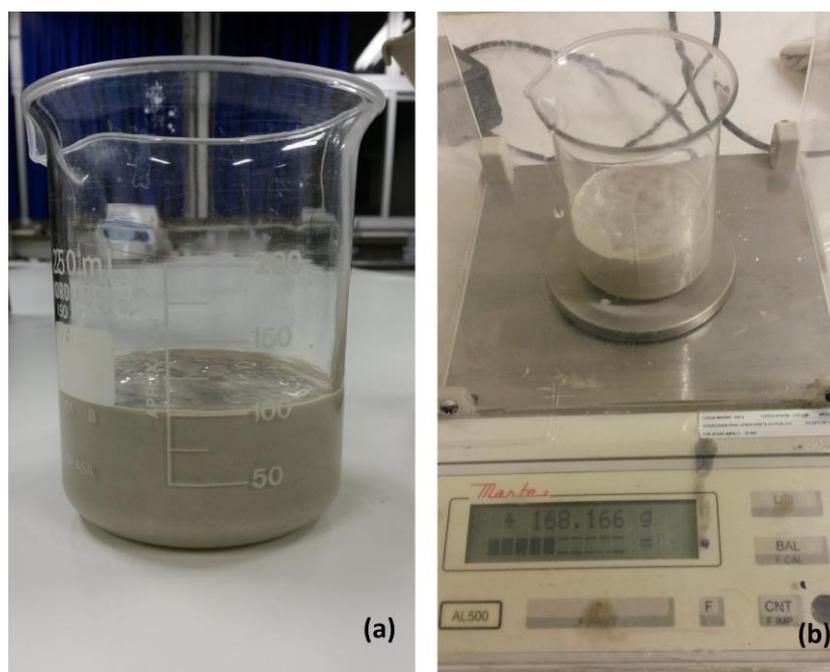
O teste com barbotina sob pressão foi antecedido pela caracterização da amostra porosa e da suspensão comercial.

A amostra de resina epóxi porosa escolhida para o ensaio, de especificação #06 (Tabela 2) segundo os trabalhos de Paluch (2015), com 80 mm de diâmetro e 11 mm de espessura, com volume aproximado de 55,29 cm<sup>3</sup>, foi pesada na balança de precisão, resultando em 43,250 g de massa e densidade média de 0,782 g/cm<sup>3</sup>. As medições verificam-se na Figura 29.



**Figura 29 – Caracterização de amostra porosa. (a) Diâmetro médio. (b) Espessura média. (c) Massa da amostra.**

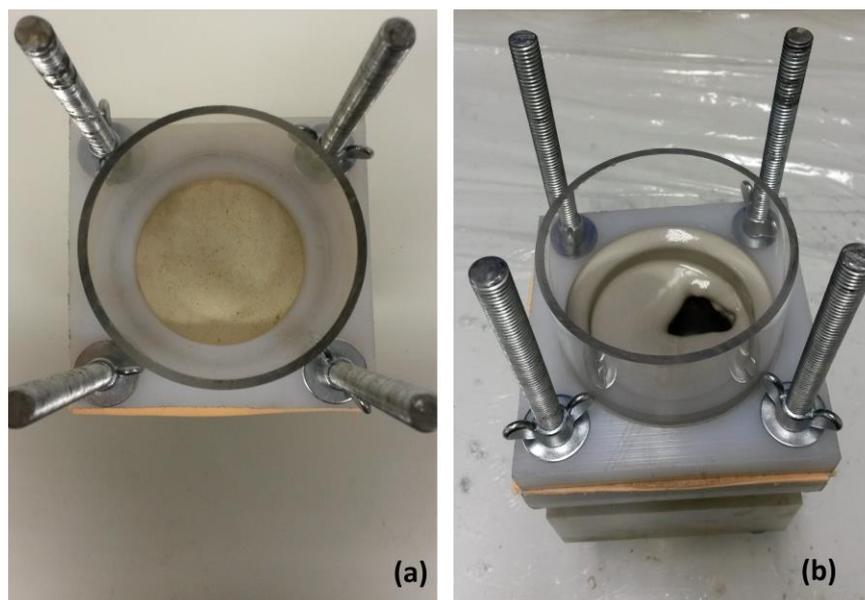
Para a caracterização da barbotina marfim comercial, um volume de 100 ml foi pesado, obtendo massa de 168,165 g, portanto, densidade de 1,682 g/cm<sup>3</sup>. Os procedimentos constata-se na Figura 30.



**Figura 30 – Caracterização da barbotina marfim comercial. (a) Volume aproximado. (b) Massa de barbotina líquida.**

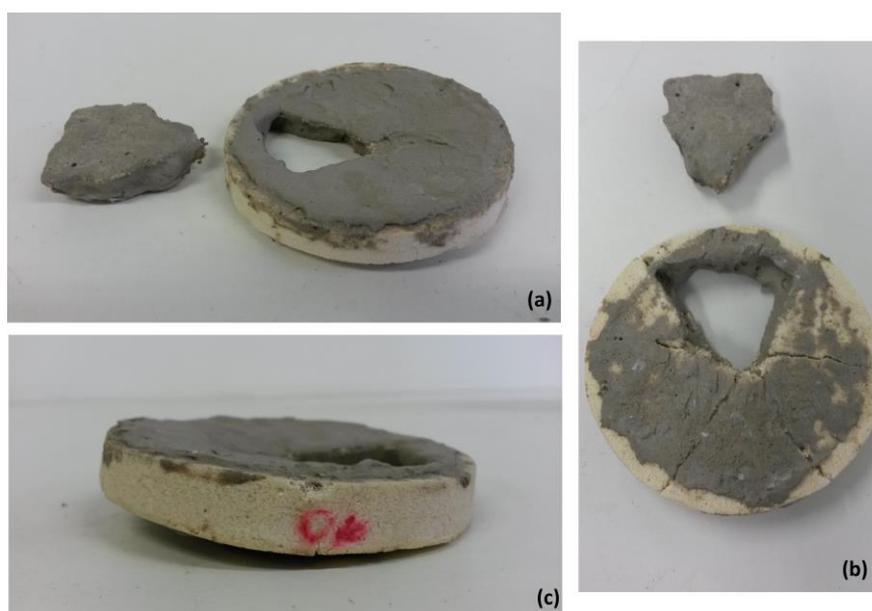
Montando o dispositivo conforme a Figura 27 (b) e aplicando pressão na câmara acrílica superior, a barbotina não apresentou reação, durante a variação de pressão ambiente até 3 bar. A mesma manteve-se estanque e em repouso na câmara de injeção, em contato com a amostra, sem observação do fenômeno da permeabilidade.

Elevando-se a pressão de ar comprimido até 4 bar, ocorreu um evento catastrófico no experimento, com o rápido “embarrigamento” e posterior rompimento da amostra porosa, que veio a colapsar abruptamente, gerando uma explosão de barbotina na câmara inferior do permeômetro, conforme Figura 31 (b).



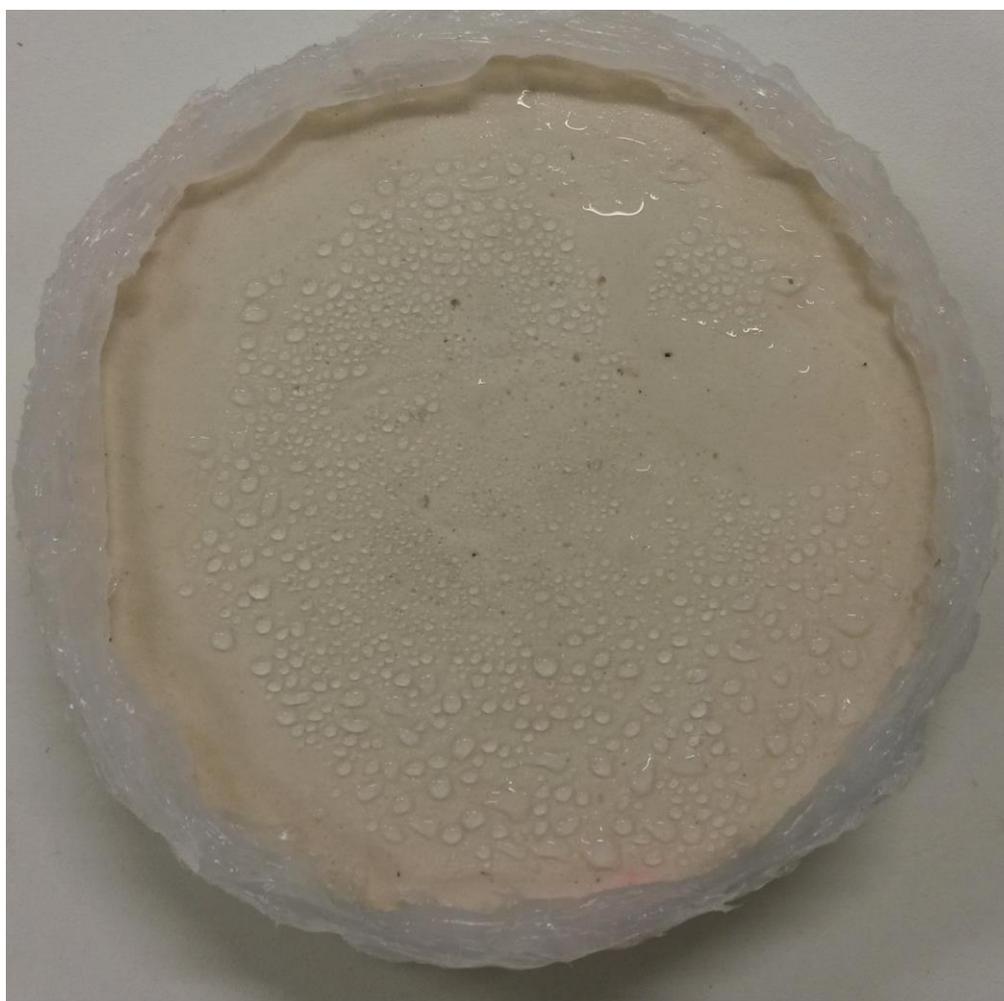
**Figura 31 – Resultado catastrófico após 4 bar de pressão. (a) Amostra intacta antes do depósito de barbotina e ar comprimido. (b) Amostra colapsada, coberta por barbotina líquida.**

Após a abertura do aparato, a amostra foi retirada e feita a lavagem do conjunto. Não foram constatados danos visíveis em qualquer componente do permeâmetro. Observa-se o estado da amostra com barbotina a verde na Figura 32.



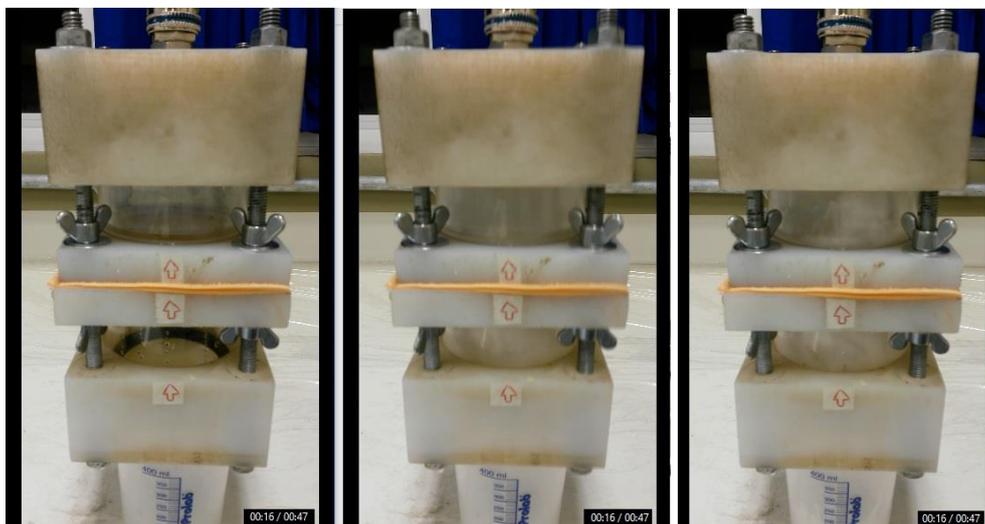
**Figura 32 – Amostra colapsada (barbotina). (a) Parte superior. (b) Parte inferior. (c) “Embarrigamento” do perfil.**

Para testes com água, 3 amostras de resina epóxi porosa foram escolhidas conforme as composições da Tabela 2, e volume de 100 ml de água combinados no permeâmetro. A amostra #2 foi testada com sucesso, com passagem de 73 ml de água pela resina, volume coletado no recipiente de coleta abaixo do permeâmetro. A água retida na amostra foi de 27 ml e amostra pós teste teve sua massa seca de 50,847 g aumentada para 58,380 g devido à absorção de água. A amostra retirada do dispositivo apresenta o aspecto visual com a água aparente nos poros, conforme Figura 33.



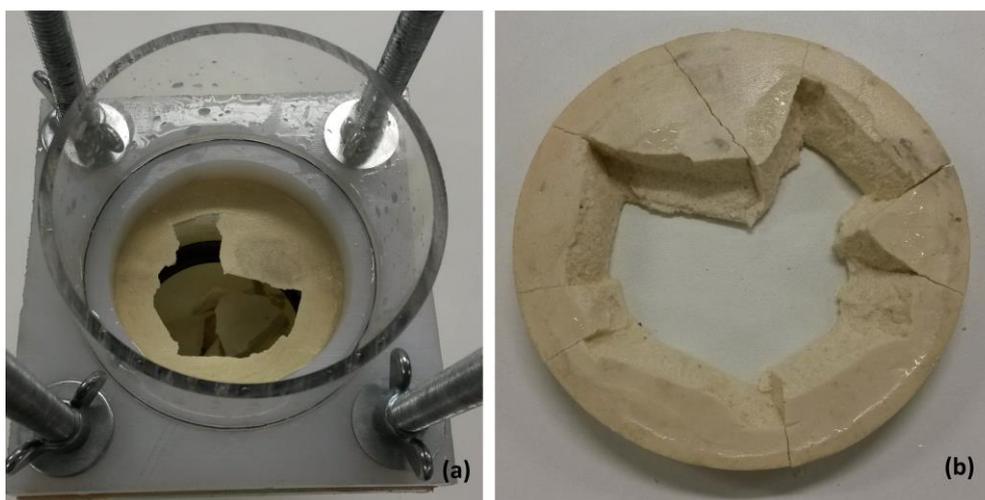
**Figura 33 – Amostra #2 após teste de permeabilidade**

A amostra #5 mostrou-se impermeável desde 1 bar até 5 bar de pressão, colapsando na pressão aproximada de 5,5 bar. Na Figura 34, o momento da falha catastrófica é representada durante três quadros em 1s de filmagem.



**Figura 34 – Momento do colapso da amostra #5**

Após retirada do permeâmetro, a amostra apresentou o aspecto da Figura 35.



**Figura 35 – Amostra #5 colapsada (a) no permeâmetro (b) detalhes da superfície**

A amostra #6 apresentou passagem de água instantânea após pressão aproximada de 1,5 bar, com passagem de água toda pela lateral. Foi observado na sua superfície, um setor central de aspecto brilhante, impermeável, com contornos porosos por onde a água passou. Observa-se a diferença de composições na Figura 36.



**Figura 36 – Amostra #6 com composição não uniforme**

O resumo dos testes realizados com 100 ml de água se apresentam na Tabela 4.

**Tabela 4 – Resumo de testes com água no permeâmetro**

<b>Amostra</b>	<b>Massa (seca) [g]</b>	<b>Espessura [cm]</b>	<b>Diâmetro [cm]</b>	<b>Massa (úmida) [g]</b>	<b>Observação</b>
2	50,847	1,02	7,95	58,380	73 ml através da amostra
5	46,495	1,00	7,5	55,775	Falha catastrófica @5,5bar
6	44,767	0,98	7,9	-	Escoamento periférico

## 4.2 Otimização operacional da UCLP

Durante o trabalho prático com a Unidade de Colagem de Louça sob Pressão, foram constatadas questões deficientes e oportunidades de melhorias, previstas na seção 3.3 deste trabalho. Conforme o *know-how* foi sendo adquirido, tanto no estudo teórico quanto na operação da máquina, fatores limitantes como conhecimento técnico nos diferentes campos do conhecimento que envolvem o projeto, assim como a restrição financeira foram encaminhando o processo para as “soluções caseiras”.

No primeiro teste de funcionamento do protótipo, percebeu-se que os botões “Ar Comprimido” e “Barbotina” (Figura 21) não desempenhavam suas funções corretamente. Analisando a fiação e as mangueiras, concluiu-se que as válvulas solenoides estavam invertidas com os comandos. Feita a troca, as funções normalizaram-se.

### 4.2.1 Fiação, mangueiras de ar comprimido e manômetro lateral

Conforme verificado em Figura 15 e Figura 16, a máquina apresentava grande parte de sua fiação e mangueiras de ar comprimido soltas ao redor do protótipo, num emaranhado de linhas de força, ar comprimido e fluido, dificultando o acesso a componentes, a manutenção e oferecendo risco de acidentes. Ao tropeçar em uma mangueira de ar comprimido à pressão de 6 bar, originária no compressor, esta soltou-se e “chicoteou”, além de causar incômodo sonoro expressivo.

Para melhorar a condição de trabalho e a segurança ao redor da máquina, foi realizada uma operação de suspensão por etapas da UCLP, cujo peso não permite que seja movimentada nem erguida manualmente. Portanto, o conjunto foi elevado através de um macaco hidráulico compacto, uma sapata por vez, calçado com placas de papelão espesso para não marcar a máquina. As fiações de comando (fixadas internamente nos componentes, não permitindo desconexão) e mangueiras foram transferidas para a área interna do protótipo. O resultado observa-se em Figura 37.



**Figura 37 – Vista lateral da UCLP atualizada**

Conforme indicado no item g) da seção 3.3, o manômetro lateral da máquina, que funciona junto ao pressostato, estava apresentando mau funcionamento. Os testes com a UCLP comprovaram que o manômetro estava inoperante. O motivo para tal era a quantidade solidificada de barbotina que se encontrava em seu interior, condenando os componentes internos e sua função, conforme observa-se na Figura 38.



**Figura 38 – Deposição de barbotina solidificada no interior do manômetro**

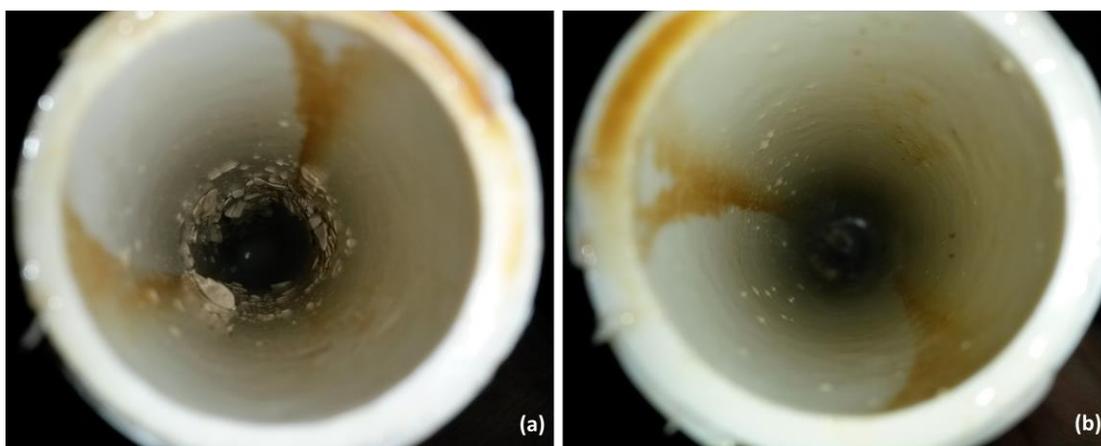
Um novo manômetro com fundo de escala 200 psi foi cotado e adquirido em distribuidor local, pelo valor de R\$ 45,00, substituindo o anterior danificado, cuja escala de leitura era 150 psi, conforme ilustra a Figura 39.



**Figura 39 – Substituição do manômetro danificado. (a) Nota fiscal de compra, (b) novo manômetro instalado, (c) manômetro danificado (à esquerda) e novo equipamento (à direita)**

#### 4.2.2 Tubulação, mangueiras de fluido e calha coletora

No decorrer dos primeiros testes da máquina funcionando com água, muitos resquícios de barbotina seca em pedaços desprenderam-se da bomba diafragma e da tubulação. A observação interna da tubulação de 1" fez-se antes e depois de alguns testes da bomba, conforme a Figura 40.



**Figura 40 – Aspecto interno da tubulação (a) pré testes e (b) após limpeza**

Vazamentos de água em conexões hidráulicas também ocorreram. Apertos e aplicação de fita veda-rosca foram realizados na linha, de forma a eliminar qualquer derramamento de fluido sobre componentes, podendo causar danos ao sistema, ou sujeira da área de serviço.

As mangueiras de sucção da bomba, limpeza da tubulação intermediária e retorno ao tanque, antes dispostas em comprimentos não apropriados e de forma desordenada, conforme a Figura 16, foram dispostas a fim de facilitar a circulação e o trabalho ao redor da máquina, com instalação de conectores em suas extremidades para expansão da linha, caso necessário.

Para realização de testes e experimentos com coleta de dados, as linhas de sucção e recalque foram dispostas no mesmo tanque, sem uso do misturador, de modo que o volume de fluido circulante no sistema seja constante. Essa configuração permite ao operador tomar o cuidado apenas de escorvar a bomba no início do funcionamento da máquina, não precisando preocupar-se com o tanque esvaziar-se após certo tempo de bombeamento, ocupando-se apenas com a coleta de dados e experimentação na UCLP.

A configuração das mangueiras foi otimizada de acordo com a Figura 41.



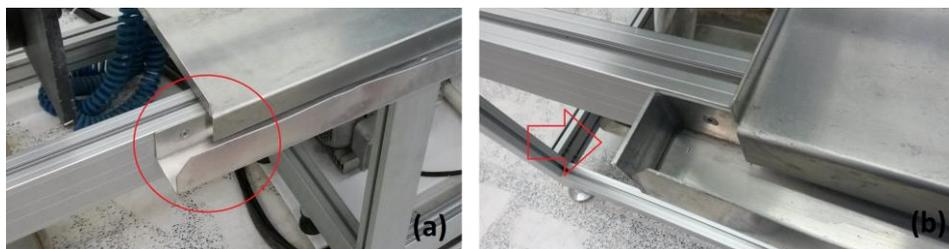
**Figura 41 – Nova disposição das mangueiras**

Conforme a numeração, tem-se mangueiras de: sucção (1), limpeza de tubulação intermediária (2) e retorno ao tanque (3). A mangueira (4) foi implementada para direcionar a coleta de restos e/ou excessos provindos do molde. Há uma calha lateral (5) que coleta os líquidos da área de serviço (6), onde ocorre a abertura do molde. Os fluidos, que antes escoavam pela calha e vazavam desta para o chão, agora são recebidos pelo funil coletor conectado à mangueira (4), conforme a Figura 42.



**Figura 42 – Funil coletor de líquidos da calha**

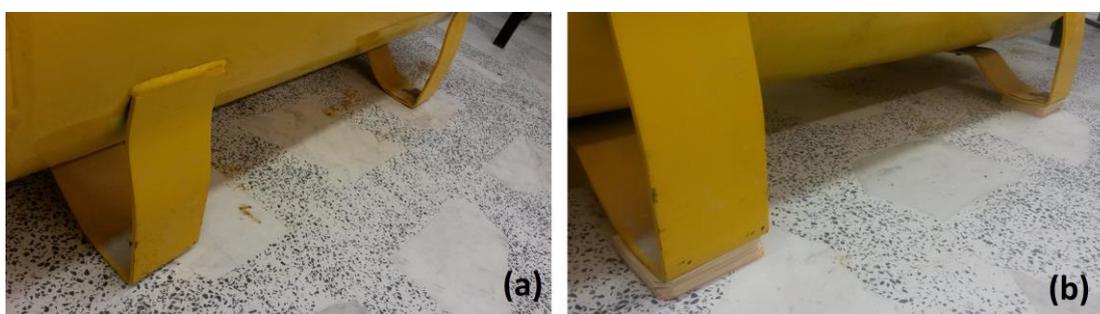
Para garantir que os líquidos não escoem para o lado oposto ao funil, foi instalada uma cantoneira para fechamento da outra extremidade, de acordo com a Figura 43.



**Figura 43 – Fechamento da extremidade esquerda da calha de coleta (a) aberta (b) fechada**

#### 4.2.3 Compressor

Ao realizar os primeiros testes na UCLP, constatou-se o funcionamento problemático do compressor, pois este vibrava demasiadamente, deslocando-se pelo laboratório, e dependendo do sentido, esticava os cabos de força, comando e mangueira. Além disso, outros equipamentos do laboratório estavam expostos a choques. Portanto, foi proposta uma solução de baixo custo, desenvolvendo sapatas de EVA sob medida para calçar os apoios do compressor e eliminar a vibração e o deslocamento indesejado, conforme a Figura 44.



**Figura 44 – Apoios do compressor (a) antes (b) e depois da instalação das sapatas de EVA**

Outra questão referente ao compressor foi a troca de óleo, que segundo o fabricante, deve ser realizada a cada 200 horas de trabalho ou períodos de 2 meses (o que ocorrer primeiro). O óleo apropriado para o equipamento é de especificação SAE 30 ISO 100 (mineral sem detergente). O rótulo de instruções no equipamento não informa o volume de óleo lubrificante, nem os procedimentos técnicos apropriados para a troca. Além do óleo, os filtros de ar devem ser trocados, e caso exista um filtro de óleo, este também deve ser substituído.

Por tratar-se de um equipamento fabricado em 2004, o manual de instruções/manutenção não foi encontrado em pesquisa na *internet*. Ao entrar em contato com o fabricante, via *email*, informando a situação e os dados técnicos do modelo, não foi obtida resposta. Nas lojas de ferramentas e equipamentos de oficina, foi encontrado apenas óleo lubrificante para compressores, da mesma marca *Pressure*, tipo Lub AW 150, cujo litro custa em média R\$ 17,10 nas lojas cotadas.

#### 4.2.4 Sistema de Bombeamento

No estudo das condições de bombeamento na bomba diafragma da UCLP, foram realizados testes de vazão com água de densidade  $1,037 \text{ g/cm}^3$ , em diferentes pressões e circunstâncias de acionamento. A Tabela 5 apresenta 20 medições de volumes obtidos em acionamento único do botão “Barbotina”, relacionando a pressão de serviço do compressor e o tempo que o fluido levou para alimentar o molde (tempo de preenchimento).

**Tabela 5 – Medições de vazão em modo manual (acionamento único)**

Pressão [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Volume [ml]	Tempo [s]	Vazão [m <sup>3</sup> /s]	Pressão [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Volume [ml]	Tempo [s]	Vazão [m <sup>3</sup> /s]
6,5	750	8,15	$9,20 \cdot 10^{-5}$	6,5	700	7,75	$9,03 \cdot 10^{-5}$
	590	7,04	$8,38 \cdot 10^{-5}$		240	5,21	$4,60 \cdot 10^{-5}$
	610	6,52	$9,35 \cdot 10^{-5}$	6	460	5,41	$8,50 \cdot 10^{-5}$
	490	6,03	$8,12 \cdot 10^{-5}$		510	6,50	$7,84 \cdot 10^{-5}$
	550	6,84	$8,04 \cdot 10^{-5}$	5,6	380	5,71	$6,65 \cdot 10^{-5}$
	530	5,53	$9,58 \cdot 10^{-5}$		400	6,08	$6,57 \cdot 10^{-5}$
	480	5,53	$8,67 \cdot 10^{-5}$		480	6,54	$7,33 \cdot 10^{-5}$
	650	7,26	$8,95 \cdot 10^{-5}$		470	7,43	$6,32 \cdot 10^{-5}$
	530	7,75	$6,83 \cdot 10^{-5}$		580	6,36	$9,11 \cdot 10^{-5}$
	600	7,87	$7,62 \cdot 10^{-5}$		610	7,96	$7,66 \cdot 10^{-5}$

As médias obtidas nas medições são: vazão 530,5 ml, 6,67s de preenchimento e  $7,92 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ .

Conforme estudos anteriores (Tabela 1), o processo de colagem sob pressão é viável para pequenos e médios empresários, na produção de peças de baixa cubagem ( $1,31 \cdot 10^{-5}$  a  $3,05 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ). Desta forma, percebe-se que a bomba diafragma existente entrega volumes na mesma ordem de grandeza necessária, caso o operador realize a injeção de barbotina em modo manual, acionando uma batida da bomba.

No teste de bombeamento contínuo, a pressão de serviço do compressor que ativa a bomba pneumática foi  $5,6 \text{ kgf/cm}^2$ , em modo manual da máquina, mantendo o botão “Barbotina” acionado durante intervalos próximos de 5s, dependentes do operador. O volume final obtido foi medido no reservatório coletor, conforme a Tabela 6.

**Tabela 6 – Medições de vazão em modo manual (acionamento contínuo)**

Volume [ml]	Tempo [s]	Vazão [m <sup>3</sup> /s]
6300	5,27	$1,20 \cdot 10^{-3}$
6170	5,84	$1,06 \cdot 10^{-3}$
5500	5,14	$1,07 \cdot 10^{-3}$
5100	4,75	$1,07 \cdot 10^{-3}$
5800	4,94	$1,17 \cdot 10^{-3}$

As médias nesta prática são: 5,77L de volume, com tempo médio de acionamento de 5,188s e vazão de  $1,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ . A bomba recalca volumes maiores durante operação contínua do diafragma, desta maneira, o preenchimento adequado de moldes pequenos e médios previstos pela Tabela 1 ocorre com acionamento único da bomba.

#### **4.2.4.1 Bomba Diafragma**

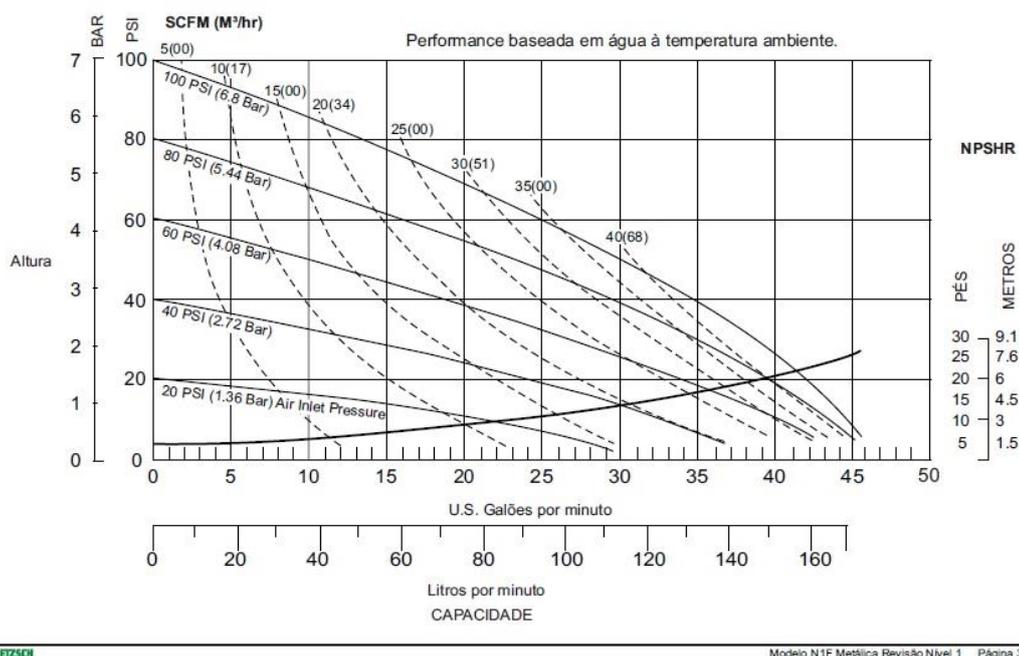
Ao entrar em contato com o fabricante da bomba (Netzsch), explicando a situação, os responsáveis pelo atendimento ao cliente prontamente encaminharam o

assunto para a equipe técnica, que em poucos dias retornou o contato com o manual da bomba em formato digital.

Segundo (NETZSCH, 2009), a bomba diafragma possui capacidade de bombeamento de 0 a 170 litros por minuto, com válvula de ar funcionando sem lubrificação, podendo bombear soluções com particulado até 6 mm de tamanho, altura máxima de 86 metros de água e deslocamento de 0,42 litros por batida.

Dados de *performance* da bomba, conforme manual do fabricante, são apresentados na Figura 45. Conforme o fabricante, o princípio de funcionamento ocorre com ar comprimido na relação 1:1. Os diafragmas internos, conectados por um eixo comum, trabalham alternadamente, enquanto um faz a descarga, outro faz a sucção. Recomenda-se a tubulação de sucção mais curta possível, mantendo o diâmetro de entrada da bomba (1") e evitando uso de conectores.

**Curvas de Performance N1F Metálica Revisão 01**



**Figura 45 – Curvas de performance da bomba diafragma Netzsch**

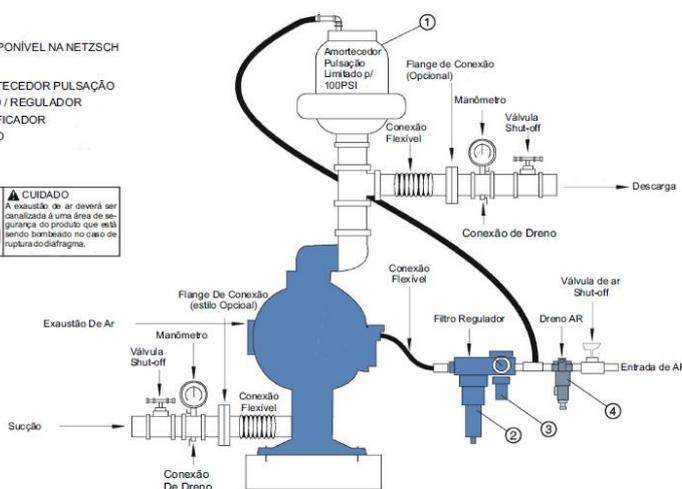
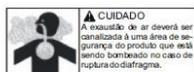
**Fonte: NETZSCH (2009, p. 3).**

Recomenda-se um amortecedor de pressão no recalque, para reduzir pulsações no fluxo, conforme Figura 46.

## GUIA DE INSTALAÇÃO

DISPONÍVEL NA NETZSCH

- ① AMORTECEDOR PULSAÇÃO
- ② FILTRO / REGULADOR
- ③ LUBRIFICADOR
- ④ DRENO



**Figura 46 – Amortecedor de pulsação**

Fonte: NETZSCH (2009, p. 6).

### 4.2.4.2 Amortecedor de Pulsação

Desta maneira, uma pesquisa sobre amortecedores de pulsação foi realizada, seguindo as especificações da bomba. Vários fabricantes possuem equipamento semelhante, porém apenas a marca Vallair do Brasil Indústria e Comércio Ltda. atendeu às especificações técnicas da bomba diafragma, em termos de vazões, pressões e diâmetro de recalque.

O amortecedor de pulsação com entrada de 1", capacidade de 1L é capaz de trabalhar com suspensão de barbotina. Utiliza gás comprimido separado do líquido de trabalho por uma câmara amortecedora. Ao receber o fluxo de recalque da bomba, o ar comprimido sofre uma redução de volume. No próximo ciclo da bomba, o gás expande e expelle o fluido de trabalho com amortecimento de até 99%. Um manômetro acoplado permite a regulagem da pressão de ar comprimido, permitindo ao usuário a regulagem até que o fluxo contínuo seja obtido.

O amortecedor foi cotado em R\$ 3.636,57, com prazo de entrega de 30 a 45 dias, conforme Figura 47.

VALLAIR®		VALLAIR DO BRASIL IND. E COM. LTDA		CERTIFICADA ISO 9001:2008		UMA OPÇÃO RÁPIDA E PRÁTICA					
Bombas, Válvulas e Instrumentação Pneumática		R. CATARINABRAIDA, 396 - MOOCA - CEP:03169-030 - SAO PAULO - SP		TEL: 55-11-2696-3411 / 55-11-4999-3411 / 55-11-2308-3461 WhatsApp: 9.9458-2177		CNPJ: 07.839.532/0001-34 / I.E. 111.834.290.119					
E-MAIL: vendas@vallair.com.br / E-MAIL NFE: nfe@vallair.com.br e nfe@vallair.com.br		Data : 06/06/18		Validade : 16/06/18		ORÇAMENTO Nº : 032500					
Razão Social: FUND A. EDUC. PES DES C. T. UNIV. TEC FED PARANA		Nome Fantasia: FUNTEF-PR		FONE: 41 8823 2325		Codigo: 003962					
Endereço : AV SETE DE SETEMBRO, 3165 TERREO - REBOUCAS - CURITIBA - PR - 80230-901		CNPJ: ██████████		IE : ████████		Vendedor: 3646 XXX - PR-10 - GERASUL REPRESENTACOES					
Conta Comercial: SR. RAFAEL SUGAMOSTO ██████████		Transportadora :		Fone :		Frete FOB: 0,00					
End Timep :		Bairro :		Cidade :		UF: CEP :					
Cond Pagamento : 14 DDL-5UJ-APROV. CREDITO				Tipo venda: Comum							
OBS: 1) O prazo de entrega será considerado a partir do dia útil seguinte ao recebimento do ordem de compra, salvo venda pronta.				2) Embalagem inclusa.							
3) Os preços de produtos importados podem sofrer variação conforme taxa cambial.				4) A ordem de compra que for cancelada terá multa de 30% do seu valor.							
5) Horário de retirada de mercadorias: dias úteis das 08:00 as 11:30 e das 13:00 as 17:00.				6) Para esclarecimento de dúvidas após a entrega, contate sac@vallair.com.br							
7) Condições de pagamento sujeitas a análise de crédito.				8) Para compra parcelada, o valor do IPI será incluso na 1 parcela do pagamento.							
AMORTECEDOR 1" CORPO EM INOX											
FRETE FOB - EM CASO DE PEDIDO, FAVOR INFORMAR TRANSPORTADORA.											
Item	Referência	Descrição	Un	Class. Fiscal	% ICMS % IPI	Quant	Vir Unit	Vir Merc.	Vir IPI	Vir Total	Prazo
01	API000010243502	AMORTECEDOR 1" (P/ BBA HY25) CAPAC. 1.0 LT / CORP. SS / DIAF. BOER. NATURAL	PC	84139190	4,00 5,00	1,00	3.463,40	3.463,40	173,17	3.636,57	30/45 Dias
Total								3.463,40	173,17	3.636,57	

**Figura 47 – Cotação de amortecedor de pulsação Vallair**

### 4.3 Benchmarking

Conforme o estudo realizado na seção 2.5, são apresentadas possibilidades de substituição da bomba diafragma modelo NETZSCH operando atualmente na UCLP. A mesma marca foi escolhida para pesquisa de mercado.

No caso da bomba helicoidal, o modelo Helicoidal NEMO Monobloco BY pode ser utilizado com diferentes fluidos com alto teor de sólidos e permite dosificação precisa, com bombeio contínuo sem pulsação, independente das variações de pressão e viscosidade.

Vários modelos são disponíveis, em diversos tamanhos, atendendo pressões de trabalho de até 24 bar e vazões até 400m<sup>3</sup>/h. O esquema da bomba está representado na Figura 48.



**Figura 48 – Bomba Helicoidal NETZSCH NEMO Monobloco BY**

**Fonte:NETZSCH (2018).**

Como variável de bomba lóbulos, o modelo TORNADO T1 se divide em 12 configurações, atendendo à faixa de até 1000m<sup>3</sup>/h de vazão e pressão máxima de 8 bar, para operações contínuas ou intermitentes. A bomba possui um sistema de segurança nas caixas de transmissão, eliminando possibilidade de vazamento de óleo e contaminação do fluido de trabalho.

Os rotores têm possibilidades bi-lobular, tri-lobular e tetra-lobular, fabricados de diversos materiais. Toleram trabalho a seco, possuem fluxo reversível e permitem manutenção sem desconexão de tubulações de sucção e recalque. O esquema da bomba é mostrado na Figura 49.



**Figura 49 – Bomba Lóbulo NETZSCH TORNADO T1**

**Fonte:NETZSCH (2018).**

Em caso de substituição da bomba diafragma por outra de mesmo princípio de funcionamento, o modelo atualizado Diafragma SERA permite vazão entre 0,4 e 1450 L/h e pressões de até 10 bar. Oferece dosagem de alta precisão, com montagem em materiais de ótima qualidade, resistentes a líquidos abrasivos, trabalho a seco, permitindo ajustes de comprimento de curso, motor com inversor de frequência e controle analógico ou digital de capacidades. A Figura 50 apresenta o esquema deste modelo.

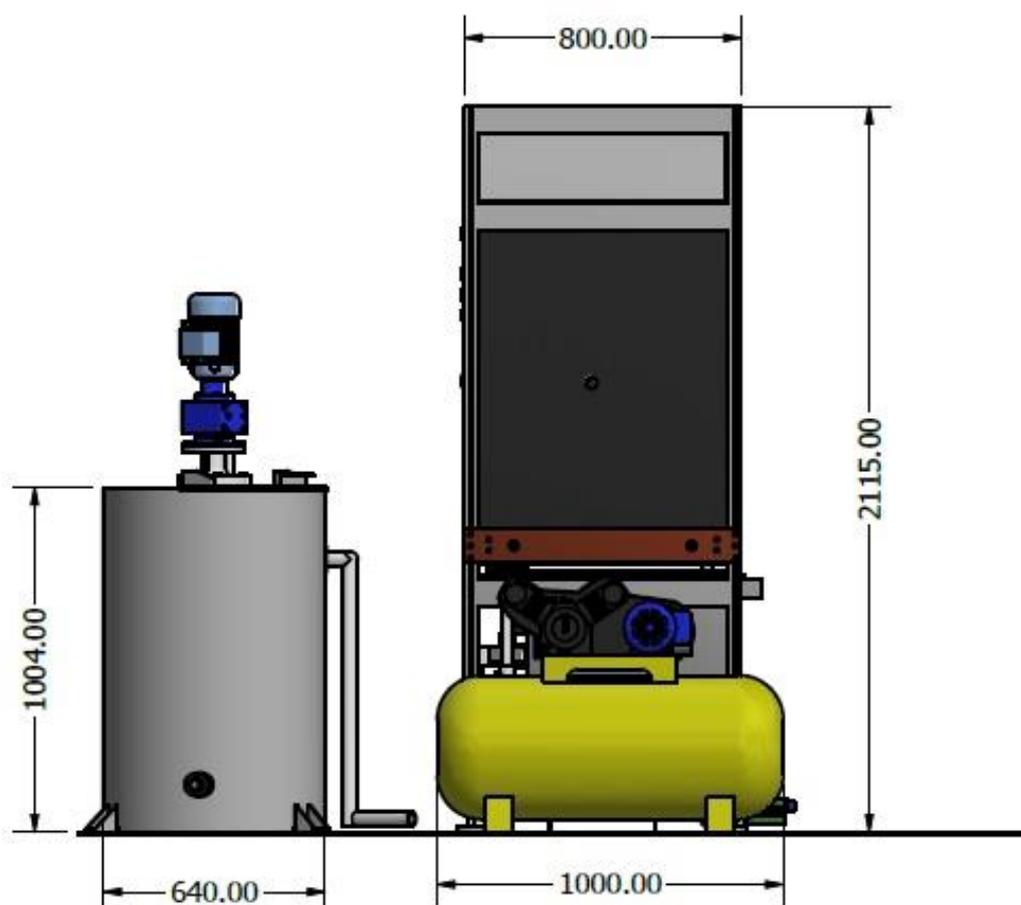


**Figura 50 – Bomba Dosadora de Diafragma NETZSCH SERA**

**Fonte:NETZSCH (2018).**

#### 4.4 Projeto da UCLP

O projeto da máquina protótipo de colagem de barbotina sob pressão, cujas características foram apresentadas até aqui neste trabalho, é retratado na forma de projeto mecânico em *software* CAD (Autodesk Inventor©). As Figuras 51 a 54 apresentam as principais dimensões e a disposição do conjunto. O APÊNDICE A expõe vistas do modelo 3D. O APÊNDICE B apresenta os dados de projeto da máquina.



**Figura 51 – Vista traseira do projeto da UCLP**

Observa-se na Figura 51 a disposição do Misturador (à esquerda), a UCLP (ao fundo) e o Compressor à frente, com as cotas das dimensões dos componentes.

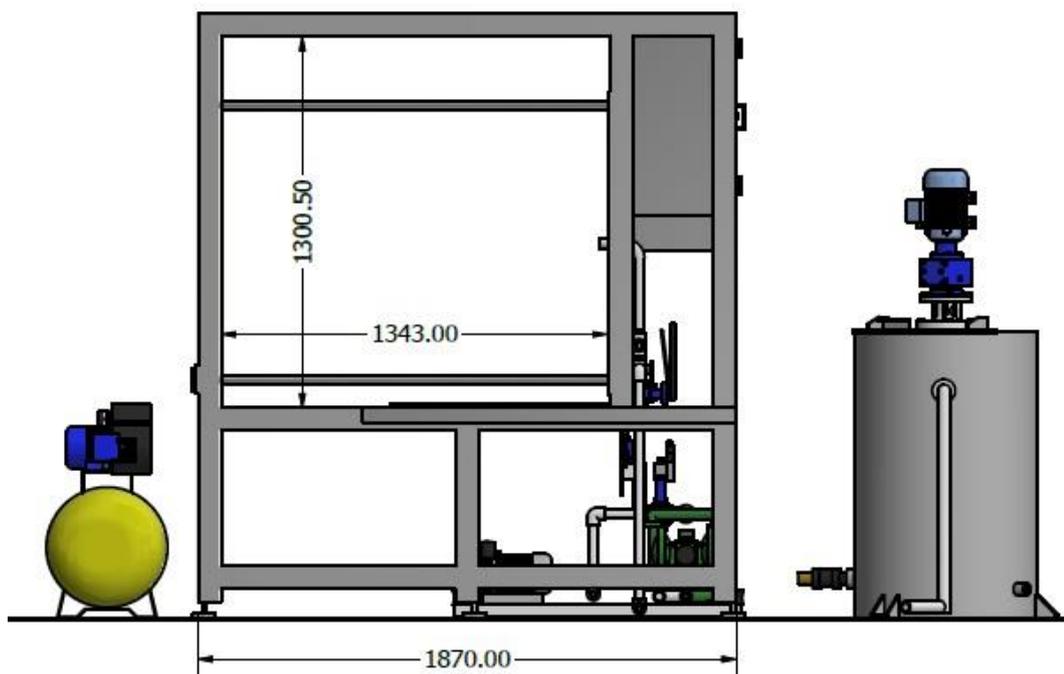


Figura 52 – Vista lateral esquerda do projeto da UCLP

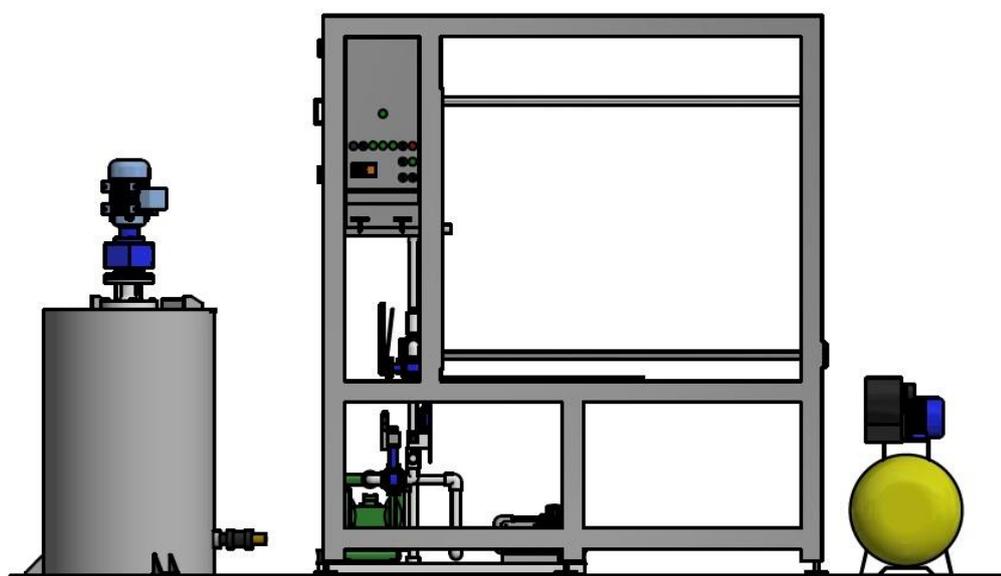


Figura 53 – Vista lateral direita do projeto da UCLP

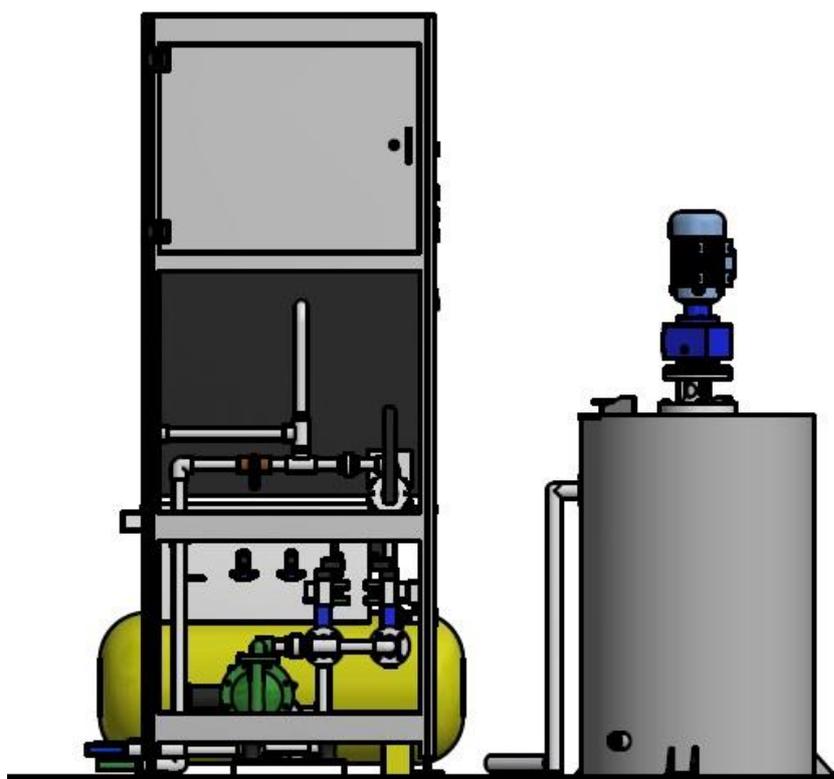


Figura 54 – Vista frontal do projeto da UCLP

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos estudos realizados até o momento, analisando trabalhos anteriores e realizando pesquisa específica de cada um dos temas que circundam esta proposta, é possível vislumbrar inúmeras possibilidades acadêmicas, profissionais e sociais em que o projeto mecânico da UCLP se insere.

O desenvolvimento integrado das disciplinas de materiais, fluidos, eletropneumática e projetos abre portas para geração de inovações tecnológicas no mercado artesanal de cerâmicas, apresentando um modelo prático para uso da comunidade acadêmica, desenvolvimento de projetos sociais e de formação técnica, integração empresa-universidade, oferecendo novos horizontes para o fortalecimento de micro, pequenos e médios produtores nacionais.

As melhorias e adaptações implementadas, sejam serviços de manutenção nos componentes do conjunto da UCLP, ou a substituição de peças defeituosas, entrega a máquina de colagem sob pressão em melhores condições operacionais e de segurança.

O desenvolvimento do permeâmetro, que suportou pressão de até 5,5 bar sem vazamentos, permitiu testes visando aprimorar a experiência com o protótipo, a partir de ensaios de formação de parede e de permeabilidade. As medições de vazão obtidas revelam que uma batida do diafragma é suficiente para preencher moldes de pequenas peças que venham a ser desenvolvidos posteriormente em outros trabalhos.

A máquina encontra-se novamente operante após anos parada, apta à novas experiências e estudos, sejam testes com molde polimérico, implementação de amortecedor de pressão no recalque da bomba ou até mesmo a troca da bomba diafragma por um modelo mais atual.

## REFERÊNCIAS

- 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**. In: 56° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba. P. 960 – 972, 2012.
- BERGER, I.; SEIDEMANN, I.; BAUMGARTEN, A.. **Formation of Casting Pores in Slip Casting Products – Means Prevention**. DKG, v 67, No. 6, P. 239 – 244, 1990.
- CARVALHO, L. B.; BARBOZA, A. O.; CERRI, J. A.; ARAÚJO, M. S.. **Análise de um aplicativo para formação técnica de preços em microempresas de cerâmica decorativa**. In: 56° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, 2012.
- CALLISTER, Jr., William D.. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- FRASSEK, L.; HENNICKE, H.W.. **Some Aspects of Pressure Slip Casting with Nonclay Suspensions**. DKG Symposium “Modern Ceramic Shapes Method”, Bayreuth, 1989.
- FREITAS, D. A. N.; ARAÚJO, M. S.; CERRI, J. A.. **Desenvolvimento de molde polimérico para colagem sob pressão de peças cerâmicas**. In: 56° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba. P. 2570 – 2581, 2012.
- HEINRICH, J. G.; GOMES, C. M.. **Introduction to Ceramics Processing**. Lecture Manuscript, TU Clausthal, 2017.
- HENN, Érico Antônio Lopes. **Máquinas de Fluido**. 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2012.
- IPARDES. **Arranjo Produtivo Local de Louças e Porcelanas de Campo Largo – Estudo de Caso**. Curitiba: PR. 2006. 37 p.
- JACICHEN, G.. **Protótipo de Máquina para Colagem Sob Pressão de Peças Cerâmicas**. In: Relatório Parcial de Atividades do PIBIC, 2012.
- JACICHEN, G.; ARAÚJO, M. S.; CERRI, J. A.. **Desenvolvimento de processo automático para protótipo de máquina de colagem de barbotina sob pressão através de programação de CLP**. In: 56° Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba. P. 2582 – 2589, 2012.
- JORNALISMO – Jornal Agora Paraná – **27ª Feira da Louça reafirma Campo Largo como a capital da louça**. Disponível em: <http://agoraparana.uol.com.br/noticia/27a-feira-da-louca-reafirma-campo-largo-como-a-capital-da-louca>  
Acesso em: 03 de novembro de 2017.

KRAUS, J.. **Pressure Casting in Silicate Ceramics**. *Industries Forum*, v 70, No.5, P. 219 – 221, 1993.

KOSTIC, B.; GASIC, M.. **Influence of Temperature and Solid Content on Fused Silica Slip – Casting Kinetics**. *Ceramics International*, v 18, P. 65 – 68, 1992.

LABROZZI, E.. **Castings from the Beginning up to Present-Day Technology**. *Ceram. Eng. Sci.*, v15, P.93 – 97, 1994.

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.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

MATTOS, Edson Ezequiel de; FALCO, Reinaldo de. **Bombas Industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

MOTTA, J.F.M.; ZANARDO A.; CABRAL, M. Jr.. **As Matérias Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e Seus Produtos**. *Cerâmica Industrial* n.6, P. 28 – 39, 2001.

NEGRI, V. J. De. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e Controle: Parte II – Sistemas Pneumáticos para Automação**. Florianópolis: UFSC, 2001.

NETZSCH do Brasil Ltda. **Manual N1F Metálica – Bomba de Duplo Diafragma**. Pomerode: SC, 2009. 22 p.

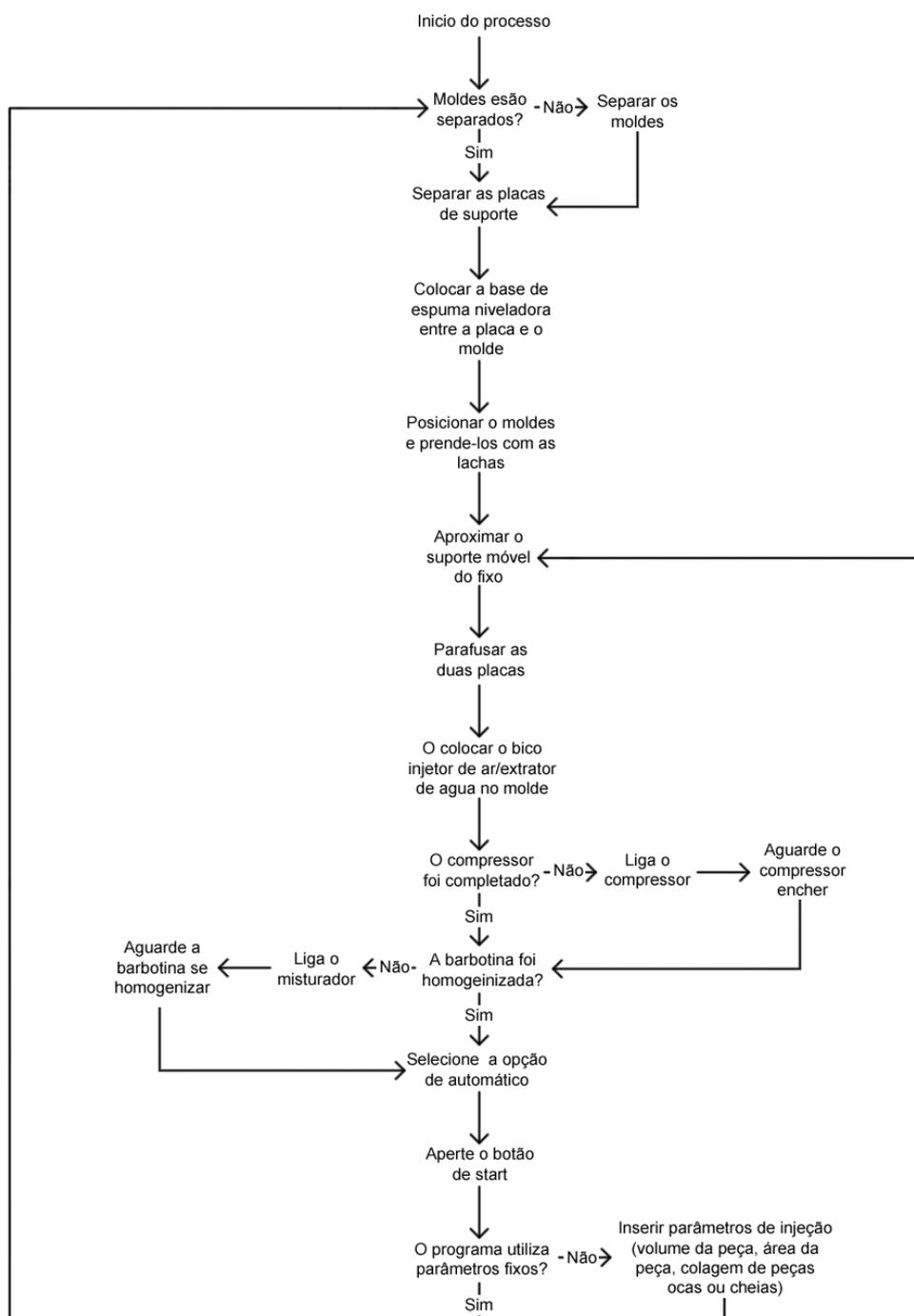
PALUCH, M. P.. **Obtenção de Espuma Microporosa Para Uso em Molde de Colagem Sob Pressão de Peças Cerâmicas**. 2005. 36 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – UTFPR, Curitiba, 2015.

PASCHOAL, Giardullo Massas EPP. **Massas Cerâmicas**. São Paulo, 2018. Disponível em <<http://www.pascoalmassas.com.br/massas-ceramicas>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

PCL CERAMICS. **World Leaders in Pressure Casting Technology**: catálogo. Reino Unido, 2018. Disponível em <<http://www.pclceramics.com/>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

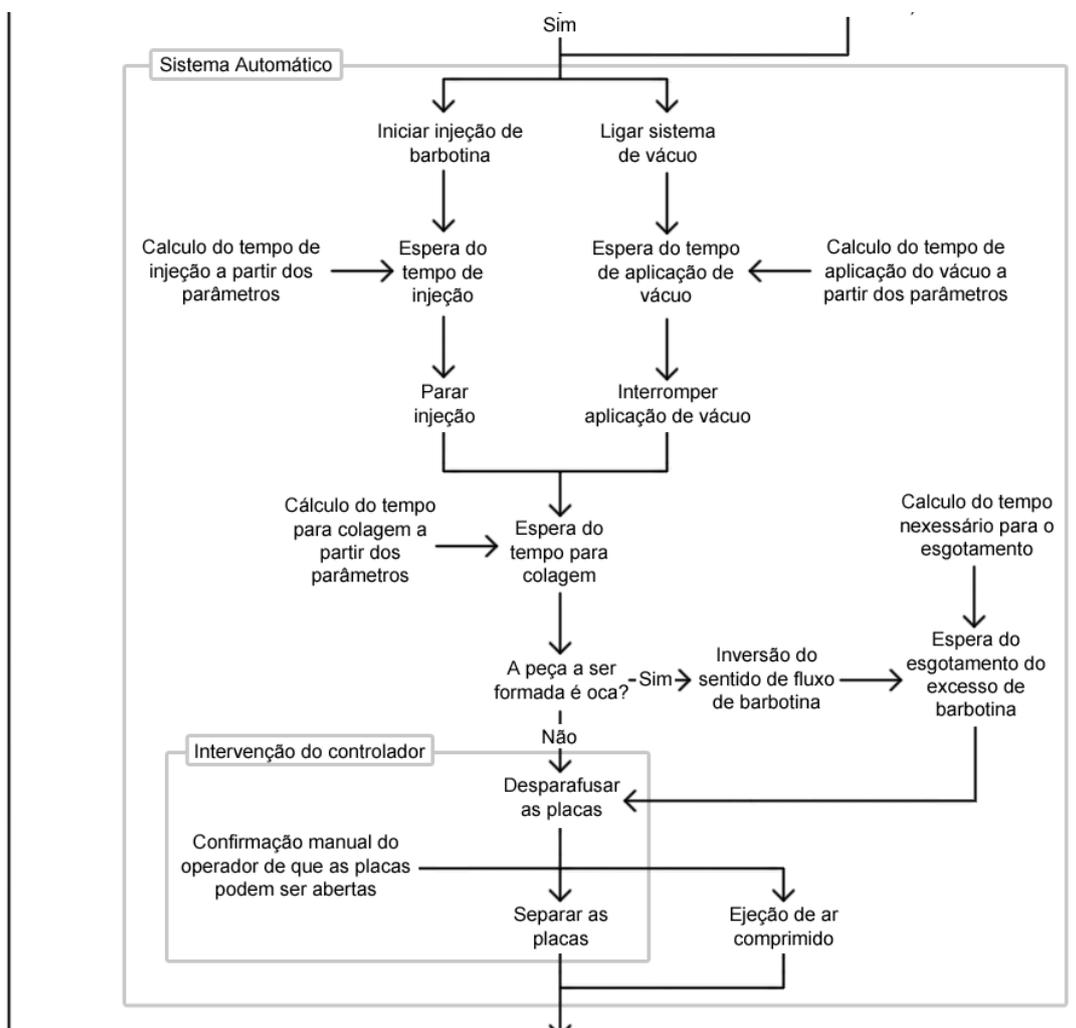
RAMACHANDRA, R.; ROOPA H. N.; KANNAN, T. S.. **The Characterization of Aqueous Silicon Slips.** Journal of the European Ceramic Society n.19, P. 2763 – 2771, 1999.

## ANEXO A – FLUXOGRAMA: FUNCIONAMENTO DA UCLP (ETAPA 1)



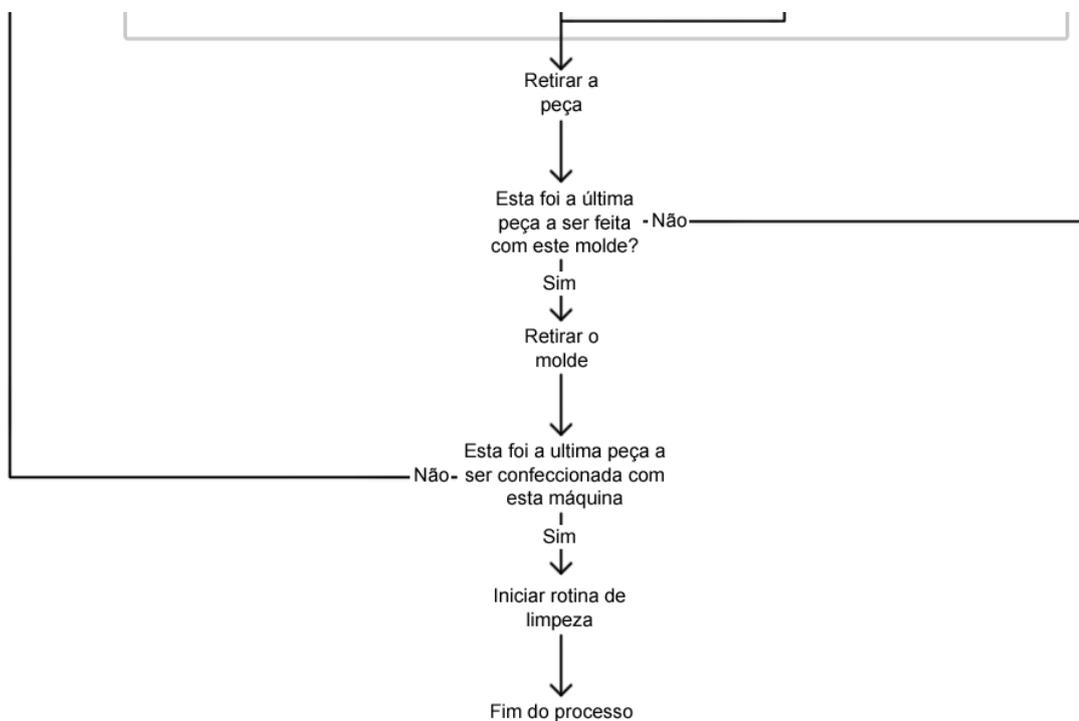
Fonte: Adaptado de Jacichen, 2012

## ANEXO B – FLUXOGRAMA: FUNCIONAMENTO DA UCLP (ETAPA 2)



Fonte: Adaptado de Jacichen, 2012

## ANEXO C – FLUXOGRAMA: FUNCIONAMENTO DA UCLP (ETAPA 3)



Fonte: Adaptado de Jacichen, 2012

# ANEXO D – NOTAS FISCAIS REFERENTES AO PERMEÂMETRO

**PLASTECNO**  
Representações e Com. LTDA.

**PABX: (11) 3021-9600 ou 3024-3330**  
CRISTIANE LIRA - vendas01@plastecno.com.br

Núm.: 29722  
Fornecedor: PLASTECNO MATRIZ  
Cliente: UTFPR - UTFPR  
Contato: RAFAEL SUGAMOSTO  
Observação:

Núm. Cli:  
CNPJ:  
Email: rafa\_srom@hotmail.com

Dt Envio: 10/05/2018  
CPF:  
Fone: / /

Orçamento de Venda No. 29722 - 10/05/2018										
Item	Qtde.	Descrição	Venda	Preço (R\$)	Unid. (R\$)	Total (R\$)	IPi (%)	ICMS (%)	Prazo (dias)	NCM/CST
1	2	TB - ACRIL CR - ACRILICO CRISTAL ( PMMA) - 90,00 X 84,00 X 1.000,00 mm	PEÇA	118,00	118,00	236,00	0	4	2	39.17.29.00 /100
<b>TOTAL SEM IPI: R\$ 317,40</b>										
<b>TOTAL COM IPI: R\$ 317,40</b>										
<b>TOTAL SEM FRETE: R\$ 236,00</b>										

**Frete:** R\$81,40

**Transporte:** FOB -

**Pagto:** AVISTA

**Validade:** 7 dias

\*CHAPAS, TARUGOS, TUBOS e peças especiais em NYLON, TEFLON, UHMW, POLIURETANO, PP, PEAD, PVC, PEEK, PVDF, CELERON, FENOLITE, POLIACETAL, ACRÍLICO, PC  
Para pagamento à vista: • Banco do Brasil - Ag. 4328-1, CC. 20551-6 • Banco Bradesco - Ag. 0031, CC. 81.405-9 • Itaú - Ag. 5589, CC. 12260-4

\*Peças usinadas, considerar tolerâncias conforme Norma DIN 7168, grau médio.

\*Preços sujeitos a reajuste, sem prévio aviso.

\*Preços válidos para as dimensões e quantidades acima, qq. Alteração, precisaremos rever este orç.

\*Pedido mínimo R\$150,00 (à vista). Pedido mínimo R\$350,00 (faturado).

R. Alvarenga Peixoto, 487 - CEP: 05095-010 - Vila Anastácio - São Paulo - SP • CNPJ:62.599.477/0001-92 • Ins. Est.:147.242.039.113

**BETTEGA**  
Vedações e Hidráulicas Ltda.  
Anéis O ring - Gaxetas - Raspadores - Fixação - Rep. para Macacos - Retentores - Teflon - Nylon - Poliuretano  
Fone/Fax: (41) 3203-4144  
vendasbettega@hotmail.com  
Rua: João Bettega, 2052 - Lj. 10 - Portão CEP 81070-001 - Curitiba - Paraná

oão Bettega, 2052 - Loja 10  
ortão - CEP 81.070-001  
(41) 3245-0491 / 3245-9490  
23 4144  
23/05/18

**V VEDAFLON**

ENDEREÇO: \_\_\_\_\_ BAIRRO/DISTRITO: \_\_\_\_\_ CEP: \_\_\_\_\_  
MUNICÍPIO: \_\_\_\_\_ FONE/FAX: \_\_\_\_\_ UF: \_\_\_\_\_  
CNPJ/CPF: \_\_\_\_\_ INSCRIÇÃO ESTADUAL: \_\_\_\_\_  
VENDEDOR: *Edson* TRANSPORTE: \_\_\_\_\_ CONDIÇÕES: \_\_\_\_\_

QUANTIDADE	UNID.	DESCRIMINAÇÃO	PREÇO UNIT.	TOTAL
02		Anel 80x3	2,50	5,00

SODIVEL HIDRAULICA E VEDACOES LTDA - CNPJ:  
77.182.442/0001-20  
RODOVIABR116, BAIRRO ALTO, 6016, PR - Fone:  
3351-7000

DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL DE CONSUMIDOR ELETRÔNICA

CODIGO	DESCRIÇÃO	QTDE	UN	VL UNIT	VL TOTAL
44 820.00	ANEL BUNA	3	MT	14,550	14,55
76	PELAÇO GUARNITAL PV308 0	2	PC	8,000	16,00
QTD TOTAL DE ITENS				2	
VALOR TOTAL R\$				30,55	
FORMA PAGAMENTO				VALOR PAGO R\$	
Dinheiro				30,55	
Número: 000024075		Serie: 1		Emissão 23/05/2018 09:22:05	

Consulte pela Chave de Acesso em:  
<http://www.sped.fazenda.pr.gov.br/modulos/contendo/contendo.php?contendo=100>

4118 0577 1824 4200 0120 6500 1000 0240 7510 8412 8840  
Protocolo de Autorização: 141180622438368 - 23/05/2018 09:22:05  
CONSUMIDOR NÃO IDENTIFICADO

**TORNEARIA MECÂNICA**

SERVIÇOS DE TORNO, SOLDAS EM GERAL

Fones: (41) 3354-8726 / 9988-0084

Rua João Schleder Sobrinho, 1610 - Boa Vista  
CEP 82540-060 - Curitiba - Paraná**RECIBO**Valor R\$ R\$ 200,00

Recebi(emos) de \_\_\_\_\_

a quantia de: Duzentos reaisCorrespondente a: 5 Ozinagem de peças de nylon.

e para clareza firmo(amos) o presente.

Paulista, 22 de Março de 2018

Assinatura

Nome: [Assinatura] CPF / RG: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_

PEDIDO Nº \_\_\_\_\_ Data 27/04/18

Cliente \_\_\_\_\_

Endereço \_\_\_\_\_

Tel. \_\_\_\_\_

Cidade \_\_\_\_\_

Est. \_\_\_\_\_

CEP \_\_\_\_\_

C.N.P.J. \_\_\_\_\_

Inscr. Est. \_\_\_\_\_

Quant.	Descrição	Unitário	Total
	<u>065kg Nylon</u>	<u>32,-</u>	
			<u>32,-</u>

**PAGO**

Visto \_\_\_\_\_

Total

tiibra

ANEIS RCS RET. E VED. HIDR. LTDA

CNPJ: 81.062.952/0001-31 inscrição  
Estadual: 1017051373RUA JOAO BETTEGA, 2052 - PORTAO -  
CURITIBA/PR - CEP: 81070001 - FONE: 4132458338  
WWW.ANEISRCS.COM.BR**DANFE NFC-e - Documento Auxiliar da Nota Fiscal  
Eletrônica para Consumidor Final**

NFC-e não permite aproveitamento de crédito de ICMS

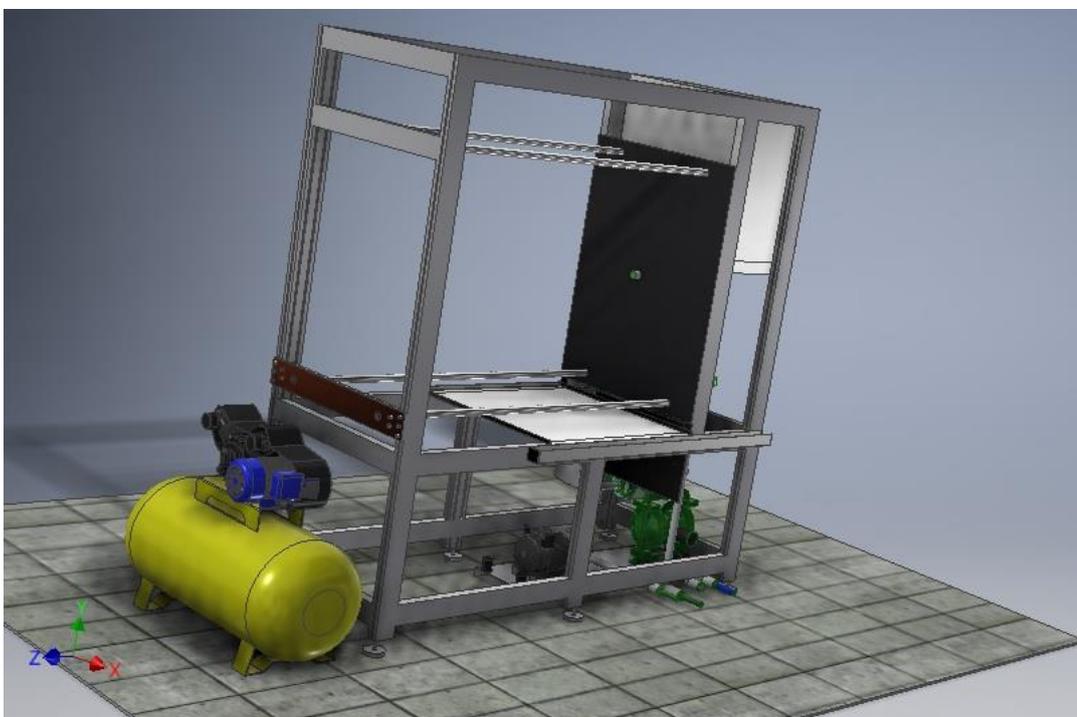
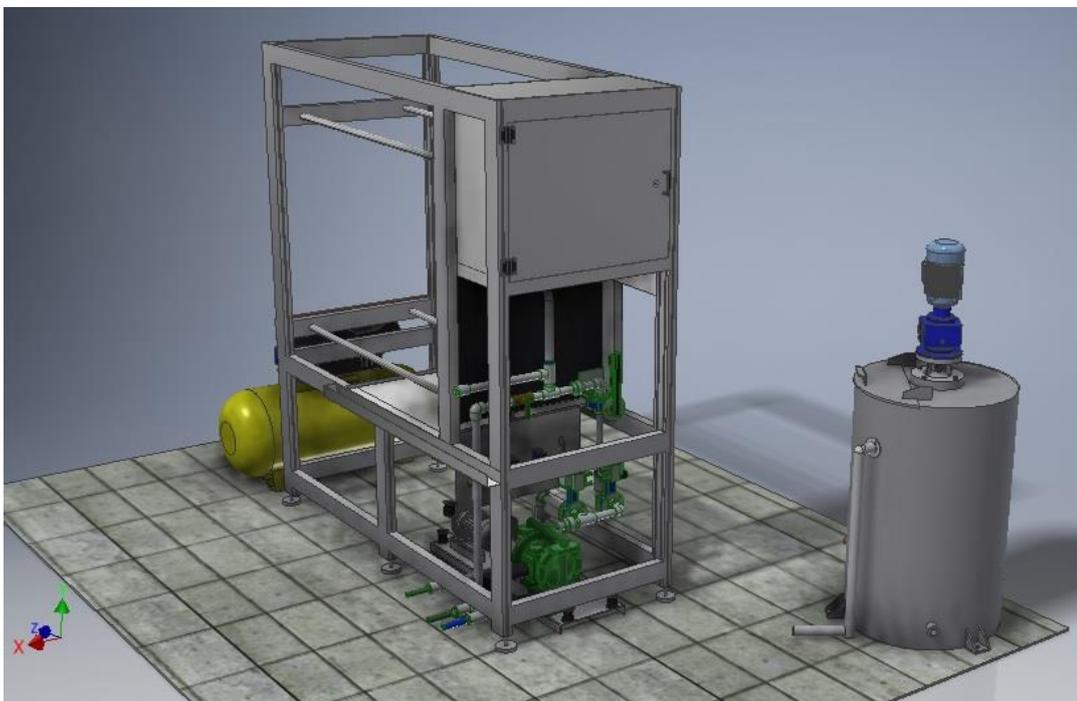
Código	Descrição	Qtde	Un	VI Unit	VI Total
003808-1	PBK 8337 (AGL)	0,020	CT	1.500,00	30,00
Qtd Total de Itens					1
Valor Total R\$					30,00
Valor Descontos R\$					0,00
FORMA DE PAGAMENTO					VALOR PAGO
Dinheiro					30,00

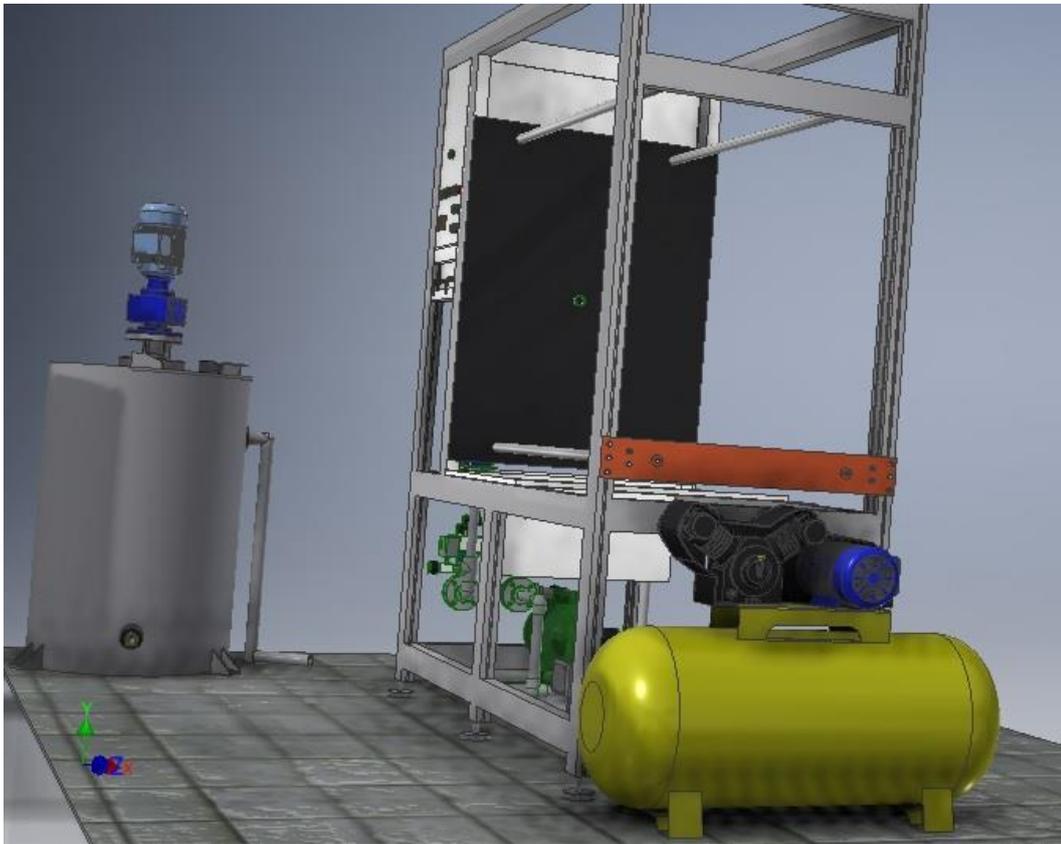
**Tributos totais incidentes (Lei Federal  
12.741/2012): R\$3,14****EMISSION NORMAL**Número: 000.022.612 Série: 1 Data de Emissão:  
23/05/2018 14:44:58 - Via Consumidor**CHAVE DE ACESSO**4118 0581 0629 5200 0131 6500 1000 0226 1215  
6417 9316**CONSUMIDOR**

Consumidor não identificado

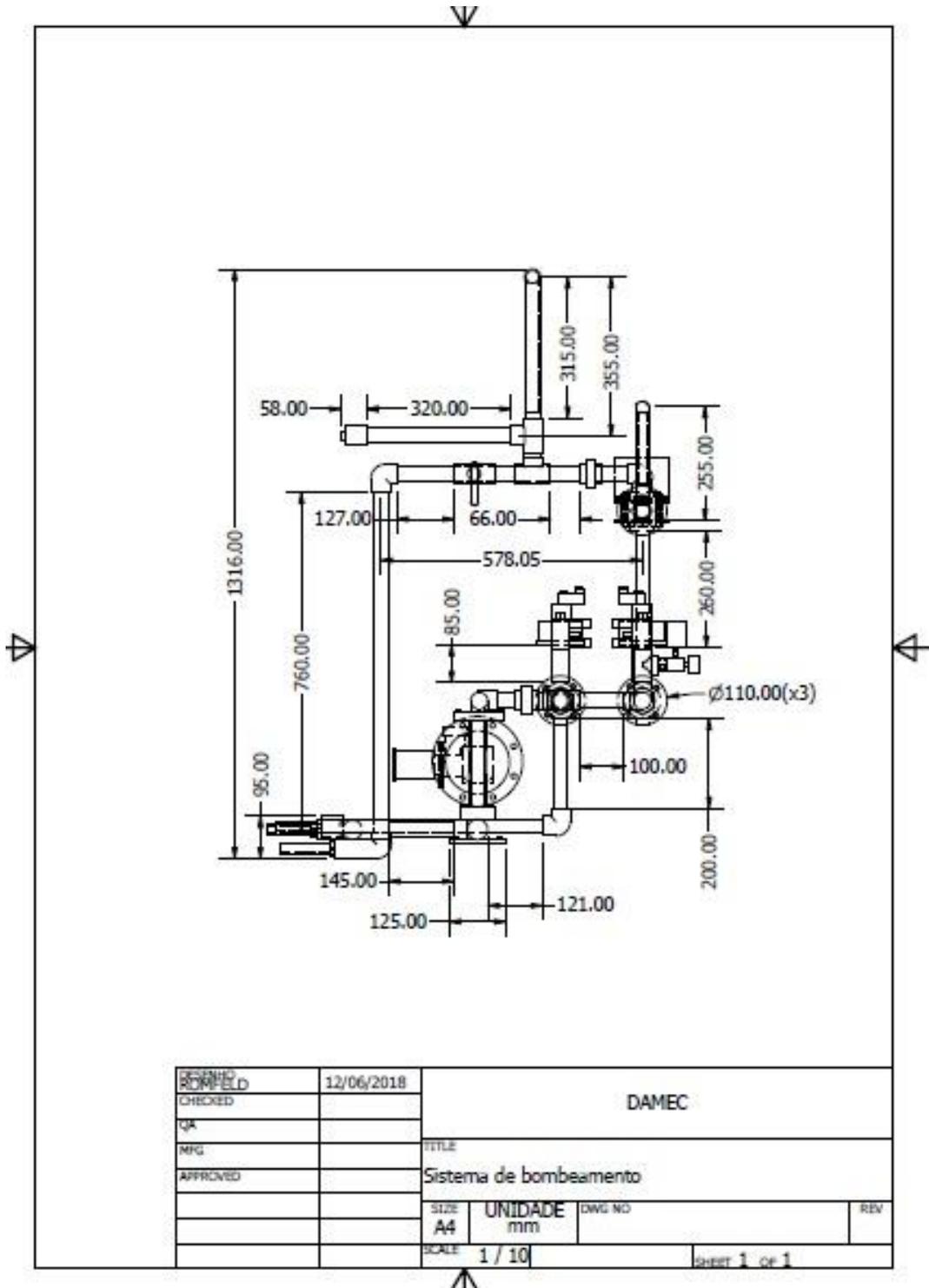
Consulta via leitor QR Code:

## APÊNDICE A – MODELAGEM CAD DA UCLP

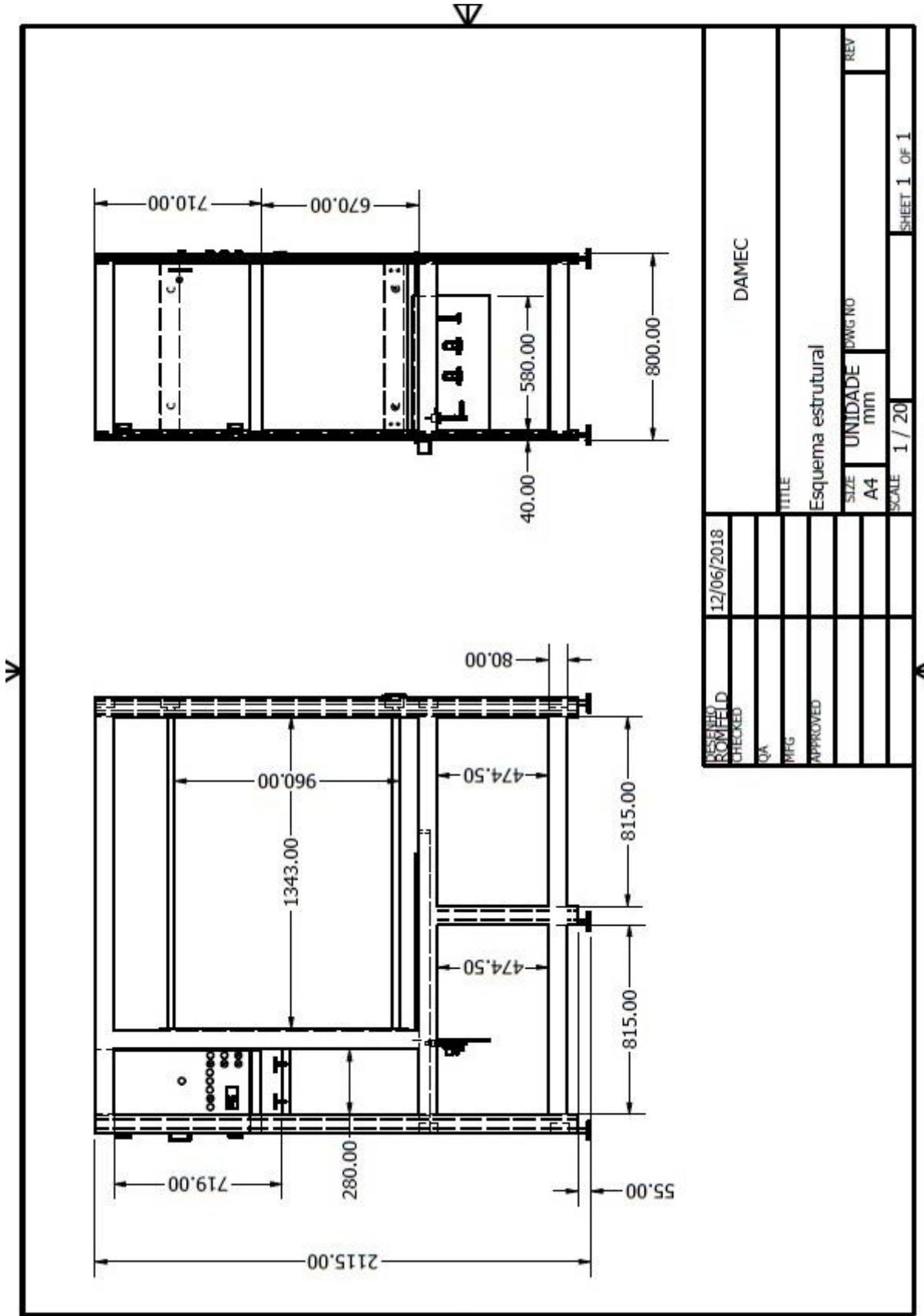




APÊNDICE B – DETALHES DE PROJETO DA UCLP



DESIGNADO	12/06/2018	DAMEC			
ROSENEID ROMFELD					
CHECKED		TÍTULO			
QA					
MFG		Sistema de bombeamento			
APPROVED					
		SIZE	UNIDADE	DWG NO	REV
		A4	mm		
		SCALE	Sheet 1 of 1		
		1 / 10			



REVISION	12/06/2018	DAMEC
DATE		
CHECKED		
QA		
MFG		
APPROVED		
TITLE	Esquema estrutural	
UNIDADE	mm	
SIZE	A4	
DWG NO		
SCALE	1 / 20	
SHEET	1	OF 1