

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

DANIEL IURCK VOSGERAU  
DANIEL RODRIGO DE MORAES  
RAFAEL SANCHES DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO DE MISTURA DE PRÉ-  
POLÍMERO E CATALISADOR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2014

DANIEL IURCK VOSGERAU  
DANIEL RODRIGO DE MORAES  
RAFAEL SANCHES DA SILVA

## **DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO DE MISTURA DE PRÉ- POLÍMERO E CATALISADOR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – e do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Leandro Stebel

CURITIBA  
2014

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

DANIEL IURCK VOSGERAU  
DANIEL RODRIGO DE MORAES  
RAFAEL SANCHES DA SILVA

### **DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO DE MISTURA DE PRÉ-POLÍMERO E CATALISADOR**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 05 de dezembro de 2013, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Milton Luiz Polli  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Mecânica

---

Prof. Esp. Sérgio Moribe  
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Carlos Henrique da Silva  
UTFPR

---

Prof. Ubiradir Mendes Pinto  
UTFPR

---

Prof. Dr. Sérgio Leandro Stebel  
Orientador – UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todas as pessoas que de alguma forma fizeram parte desse trabalho.

Ao nosso orientador e aos professores envolvidos que nos auxiliaram em momentos difíceis.

As nossas famílias que souberam entender nossos momentos de ausência.

A empresa PBN e o Eng. Márcio Adriano Garcia que nos forneceu informações técnicas, cedeu à empresa para realização dos trabalhos, forneceu equipamentos, mão-de-obra e todos os recursos necessários.

O técnico Ataíde Tribik que forneceu informações práticas referentes ao processo.

A instituição que cedeu os laboratórios para os devidos testes.

## RESUMO

MORAES, Daniel; VOSGERAU, Daniel; DA SILVA, Rafael Sanches. **Desenvolvimento do equipamento de mistura de pré-polímero e catalisador.** 2013. 64f. Monografia (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, UTFPR. Curitiba, 2014.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento teórico e prático para um processo automático de mistura de pré-polímero e catalisador. O trabalho foi realizado na empresa PBN. O sistema desenvolvido é composto por: tanque, misturador, balança, válvulas e atuadores. Os ajustes do processo foram baseados na experiência relatada pela empresa. Do mesmo modo, foram consideradas as aplicações atuais no ramo de fabricação de polímeros.

**Palavras-chave:** Processo de mistura. Pré-polímero. Catalisador. Fabricação de polímero.

## **ABSTRACT**

MORAES, Daniel; VOSGERAU, Daniel; DA SILVA, Rafael Sanches. **Development of the catalyst and prepolymer blending equipment.** 2013. 64f. Monografia (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, UTFPR. Curitiba, 2014.

This work presents the theoretical and practical development for automatic blending process of prepolymer and catalyst. The study was done at PBN Company. The developed system is composed of tank, mixer, scale, valves and actuators. Process settings were based on the experience reported by the company. Similarly, we considered the current applications in the field of manufacture of polymers.

**Keywords:** Blending Process. Pre-polymer. Catalyst. Manufacture of polymer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tanque de Pré-Polímero Ligado à Bomba de Vácuo .....	12
Figura 2 - Processo de Mistura e Moldagem.....	12
Figura 3 - Diagrama em Blocos do Microcontrolador .....	18
Figura 4 – Arduino Uno.....	19
Figura 5 – Extensômetro.....	21
Figura 6 - Fluxograma do Processo .....	22
Figura 7 - Detalhamento do Projeto Mecânico.....	23
Figura 8 – Detalhamento da Montagem Elétrica.....	23
Figura 9 – Exemplo do Ambiente de Programação.....	24
Figura 10 - Estrutura em Fase de Acabamento .....	25
Figura 11 – Projeto da Estrutura .....	25
Figura 12 – Base de movimentação com guias .....	26
Figura 13 – Modelagem do Sistema de Movimentação.....	26
Figura 14 – Mancal da Mesa de Movimentação .....	27
Figura 15 - Mesa Completa.....	27
Figura 16 - Montagem da Célula de Carga no Centro da Mesa .....	28
Figura 17 – Modelo do Tanque de Aquecimento .....	29
Figura 18 - Tanque de Pré-Polímero com Resistência Tipo Colar .....	29
Figura 19 - Capa Interna .....	30
Figura 20 - Tanque com a proteção externa e tampa.....	30
Figura 21 - Válvula de Bloqueio .....	31
Figura 22 - Êmbolo da Válvula de Controle.....	32
Figura 23 - Montagem do Conjunto .....	32
Figura 24 – Conjunto Montado com a Resistência.....	32
Figura 25 – Atuador Pneumático .....	33
Figura 26 – Projeto do Tanque de Catalisador com válvula solenóide .....	34
Figura 27 - Tanque de Catalisador.....	34
Figura 28 - Válvula Solenóide com Bobina 24 Vdc.....	35
Figura 29 – Projeto do Misturador .....	36
Figura 30 - Sistema de Mistura.....	36
Figura 31 - Resistência Inferior e a Tipo Coleira Montada na Lateral.....	37
Figura 32 - Resistência Tipo Coleira sem Contato .....	38
Figura 33 - Resistência de Placa fixada na Válvula de Bloqueio. ....	38
Figura 34 – Sistema Pneumático .....	39
Figura 35 - Diagrama de Interligação dos Componentes Elétricos .....	39
Figura 36 – Arduino Mega2560.....	40
Figura 37 - Controlador de Temperatura OMRON - E5CWL.....	41
Figura 38 – Conexões Externas do OMRON - E5CWL .....	41
Figura 39 – <i>Display</i> e Teclado .....	42
Figura 40 - Ligação do Teclado Matricial .....	42
Figura 41 – Placa de relés.....	43
Figura 42 – Placa de Controle Motor Misturador.....	43
Figura 43 - SSR OMRON Modelo G3NA.....	44
Figura 44 - Conexões Externas do SSR OMRON G3NA.....	44
Figura 45 - Célula de Carga Alfa Instrumentos, Modelo GL10. ....	45
Figura 46 - Amplificador SMOWO .....	45
Figura 47 - Motor de Corrente Contínua da Akyama, Modelo AK550. ....	46
Figura 48 – Grafcet do Programa.....	47

<b>Figura 49 – Entradas e saídas microcontrolador .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 50 – Fluxo do Processo .....</b>	<b>51</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1	OBJETIVOS .....	10
1.1.1	Objetivo Geral.....	10
1.1.2	Objetivo Específico .....	11
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	14
2.1	AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL .....	14
2.2	POLÍMEROS .....	15
2.3	CATALISADOR .....	16
2.4	DESAERADOR.....	17
2.5	MICROCONTROLADOR.....	17
2.6	ARDUINO .....	19
2.7	CÉLULA DE CARGA .....	20
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO</b> .....	22
3.1	MECÂNICA.....	24
3.1.1	Estrutura .....	25
3.1.2	Base de Movimentação Horizontal .....	26
3.1.3	Mancal.....	26
3.1.4	Mesa.....	27
3.1.5	Tanque de Pré-Polímero .....	28
3.1.6	Válvula de Controle do escoamento do Pré-Polímero .....	30
3.1.7	Atuador Pneumático .....	33
3.1.8	Tanque de Catalisador .....	33
3.1.9	Válvula de Bloqueio .....	34
3.1.10	Misturador.....	35
3.1.11	Resistência.....	37
3.1.12	Circuito Pneumático.....	38
3.2	ELETRO-ELETRÔNICA .....	39
3.2.1	Arduino .....	40
3.2.2	Controlador de Temperatura .....	40
3.2.3	Interface com o Usuário.....	41
3.2.4	Circuito com Relés.....	42
3.2.5	Circuito Transistorizado .....	43
3.2.6	Relé de Estado Sólido .....	44
3.2.7	Célula de Carga.....	45
3.2.8	Misturador.....	46
3.3	CONTROLE.....	46
3.3.1	Lógica de Controle da Planta .....	46
3.3.2	Grafcet da Programação do Microcontrolador .....	47
3.3.3	Entradas e Saídas do Microcontrolador.....	48
<b>4</b>	<b>TESTES E RESULTADOS</b> .....	49
4.1	CÉLULA DE CARGA .....	49
4.2	TANQUE DE AQUECIMENTO DE PRÉ-POLÍMERO .....	49
4.3	VÁCUO .....	49
4.4	TANQUE CATALISADOR .....	49
4.5	TESTES COM O PRODUTO.....	50
4.6	PROCESSO DETALHADO .....	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	53

<b>6</b>	<b>SUGESTÃO DE MELHORIA .....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>
	<b>APÊNDICE A – Investimento total.....</b>	<b>57</b>
	<b>APÊNDICE B – Programação Arduino.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira obteve um alto crescimento no século XX com a chegada de empresas multinacionais, que trouxeram conhecimentos, automatização, ferramentas de produção e qualidade.

A fabricação de equipamentos nacionais e automatização dos processos é um dos grandes fatores que acrescentam pontos positivos ao Brasil. Atualmente o incentivo fiscal, como crédito para financiamentos, destinando a estes produtos valorizou a área de engenharia e desenvolvimento. Além disso, todo o planejamento para desenvolvimento de um novo produto está alinhado ao investimento necessário, como mão-de-obra e equipamentos. Sendo assim a maioria das máquinas nacionais possuem um valor menor quando comparada à equipamentos importados, mesmo somando-as as taxas de importação. Pontos estes decisivos para o valor de mercado do produto e na escolha de investimento para o empreendedor.

A junção da necessidade de desenvolvimento de maquinário nacional e da fabricação de peças em polímeros fez com que novos conceitos de máquinas fossem desenvolvidos dentro do mercado brasileiro. A característica físico-química e o processamento desse tipo de material possuem diversos fatores que necessitam de análises, em função de cada classe de polímero possuir uma técnica de processamento distinto, por exemplo, moldagem, extrusão, fundição e vulcanização.

Neste sentido este trabalho baseia-se na necessidade do mercado por máquinas nacionais, bem como a facilidade atual em se aplicar um sistema automatizado com os avanços tecnológicos e experiência em estudos de fabricação de polímeros.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema com partes automatizadas que realize a mistura do pré-polímero com o catalisador. Neste projeto busca-se o desenvolvimento de equipamentos que possam realizar o processamento de uma forma precisa, segura, eficiente e garantindo ao final do processo um produto com qualidade.

### 1.1.2 Objetivo Específico

- Pesquisar temas relacionados aos polímeros.
- Desenvolver o projeto mecânico do equipamento que possa executar a fase de mistura corretamente, conforme o especificado.
- Desenvolver um sistema de controle automático ON-OFF para válvulas de escoamento das estufas de pré-polímero e catalisador, para controle da temperatura.
- Programar a lógica do processo através de microcontrolador conforme os requisitos básicos de processamento.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

As empresas desenvolvem equipamentos visando tempo de ciclo, tempo de máquina parada, eficiência de linhas entre outros indicadores de eficiência. Neste sentido, pode-se ainda incluir como foco dessa implementação a segurança do sistema, sem necessidade de realizar ações de risco, evitando imprevistos como acidentes e incidentes.

A empresa PBN, fabricante de peças de polímeros, possui o processo manual de fabricação. Os equipamentos utilizados são conforme a Figura 1 e Figura 2. O controle das variáveis do processo como temperatura, pressão negativa entre outras são decisivos na qualidade do produto final. Deste modo, torna-se impossível seguir um trabalho padronizado com os recursos disponíveis. As peças fabricadas apresentam propriedades mecânicas fora do especificado. Constatou-se, por exemplo, o surgimento de bolhas de ar internamente na peça, causado pelo processo de desaeração, que não era realizado adequadamente.



**Figura 1 - Tanque de Pré-Polímero Ligado à Bomba de Vácuo**  
Fonte: Autoria própria



**Figura 2 - Processo de Mistura e Moldagem**  
Fonte: Autoria própria

Tratando-se de um processo que trabalha com alta temperatura (na faixa de 80°C), o uso de equipamentos de proteção individual é indispensável. As instalações elétricas fora das normas são evidentes. Pode-se citar como exemplo, a presença de fios e cabos distribuídos inadequadamente, má isolações e equipamentos obsoletos.

A utilização de um sistema automatizado juntamente com equipamentos confiáveis e de qualidade, poderá gerar uma melhoria com a redução de perdas e um sistema rápido e eficiente.

Pelo relato do proprietário, dois fatores devem ser considerados no sistema: O alto custo para o desenvolvimento e o processo de fabricação que é artesanal. Assim, o desenvolvimento de um equipamento que trabalhe com temperatura elevada e as propriedades físico-químicas do pré-polímero são fatores de grande importância na elaboração deste projeto. Conforme estas especificações, o desenvolvimento desse trabalho tem como intenção solucionar os principais problemas relatados no sistema, através da aplicação de conhecimentos adquiridos durante o curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial e pela experiência no acompanhamento de fabricação.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A automação industrial iniciou no século XVIII, após um dos acontecimentos mais importantes da história da humanidade: a Revolução Industrial. Esse movimento de mecanização dos sistemas de produção, em busca de aumentar os lucros, acelerar a produção e atender a demanda da população, ocorrido na Inglaterra, marcou o fim da Idade Média e o início da Idade Moderna (CAPELLI, 2006).

Nas modernas instalações produtivas atuais a automação passou a ser, não apenas uma questão de sobrevivência, mas também um desafio (PIRES, 2012).

O controle automático tornou-se uma parte integrante e importante dos processos industriais de fabricação modernos sendo fundamental para o controle de pressão, temperatura, umidade, viscosidade e fluxo em processos industriais; manuseando, operando e montando partes mecânicas das indústrias de fabricação, entre muitas outras (OGATA, 1985).

O processo de automação industrial, iniciado na Inglaterra, reduziu imediatamente o número de operários em chão de fábrica. Entretanto no século XVIII as condições de trabalho eram precárias, ambientes com pouca iluminação, abafados e sujos, os salários eram baixos e os empregados trabalhavam até 18 horas por dia. Nesse sentido a automatização dos processos industriais valorizou o ser humano, liberando-o para atividades relacionadas com a manutenção, desenvolvimento e supervisão de sistemas, promovendo um aumento de qualidade de vida (SILVEIRA, SANTOS, 2002).

Automação é um conceito de sistemas que atuam no meio, com uma ação corretiva, conforme as informações recebidas do processo, corrigindo valores indesejáveis na saída do sistema (SILVEIRA; SANTOS, 2002).

Para calcular as ações de correção do sistema em ambiente industrial, um dispositivo microprocessador se tornou indispensável, o Controlador Lógico Programável (CLP). Esse equipamento possui uma memória programável, dessa forma é capaz de realizar relações lógicas, matemáticas, números inteiros e binários, ponto flutuante (reais), operações trigonométricas, aritméticas, transporte,

armazenamento de dados, comparação, temporização, contagem e sequenciamento (CAPELLI, 2006).

Entretanto para conseguir controlar um processo além de lógicas algorítmicas também é de extrema importância verificar e interferir no ambiente, papel dos sensores e atuadores. Os sensores são dispositivos capazes de perceber alguma forma de energia do ambiente, podendo ser luminosa, térmica ou cinética. Já os atuadores são componentes capazes de modificar o ambiente, recebendo um sinal do controlador e agindo sobre o sistema, como exemplo: válvulas, relés, cilindros, motores e solenóides (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2008).

## 2.2 POLÍMEROS

Os materiais plásticos são compostos de resinas naturais ou resinas sintéticas. A maior parte destes materiais é de naturezas orgânicas, tendo em sua composição H, C, O e N.

Os polímeros apresentaram grande evolução na fabricação de peças e artefatos para substituição do aço e madeira, em função da alta resistência à abrasão e elasticidade. São encontrados na forma sintética e natural, sendo que naturalmente os polímeros são derivados basicamente do petróleo, árvores e plantas. O avanço de tecnologias após a década de 50 fez com que o polímero sintético, desenvolvido a partir de laboratórios, iniciasse um novo ciclo permitindo alterações das propriedades mecânicas conforme a necessidade e com custo menor em relação ao natural.

As propriedades mecânicas dos polímeros são um dos principais fatores na decisão à sua aplicação. Como características alta deformação à tração, e a variação de suas propriedades em função da temperatura.

Em função da temperatura de aplicação, os polímeros são divididos em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos quando aquecidos amolecem e com o resfriamento ocorre o endurecimento, ao contrário os termofixos possuem como característica o endurecimento em alta temperatura, e estes se mantêm com o resfriamento. Os polímeros também podem ser classificados em subclasses como plásticos, elastômeros, fibras, revestimentos, adesivos, espumas e as películas (CALLISTER, 2002).

Existem várias técnicas de conformação, e cada aplicação está em função do tipo de polímero. Para os plásticos os mais comuns são extrusão, modelagem por compressão e por injeção. No caso de elastômeros termofixos o processo de vulcanização é a alternativa mais apropriada. Alguns processos estão sujeitos às alterações de propriedades mecânicas, pode-se citar o estreitamento e tratamento térmico. Estreitamento é a aplicação de força de tração com o objetivo de aumentar o limite de resistência e o módulo, similar ao processo de encruamento do aço. O tratamento térmico do polímero é similar ao recozimento do aço, porém obtêm-se resultados opostos, aumento do módulo de tração, aumento do limite de escoamento e redução na ductilidade (CALLISTER, 2002).

Existem várias razões pelas quais um engenheiro deve saber algo sobre as características, as aplicações e o processamento dos materiais poliméricos, a compreensão dos mecanismos segundo os quais os polímeros se deformam elasticamente e plasticamente permite que se altere e controle os seus módulos de elasticidade e resistências. Ainda, podem ser adicionados aditivos aos materiais poliméricos que se modificam um grande número de suas propriedades, incluindo resistência mecânica, resistência à abrasão, tenacidade, estabilidade térmica, rigidez, deteriorabilidade, cor e resistência à chama (CALLISTER, 2002).

O Poliuretano (sigla PU) conhecido também como plástico de engenharia tem sua estrutura baseada em um elastômero, porém possui natureza termoplástica. Para sua fabricação é necessário a mistura do pré-polímero e o catalisador, sendo uma mistura estequiométrica, todo o processo de mistura é realizado manual ou automaticamente dependendo dos recursos. Após essa fase o mesmo é escoado para o molde que possui o formato da peça desejada. O material resultante dessa mistura é também conhecido como poliuretano fundido.

### 2.3 CATALISADOR

Os catalisadores são produtos químicos que possuem diversas funções na reação quando ele é aplicado, possibilitando a modificação um polímero aparentemente inerte através de reações simples ou complexas. Assim com estas mudanças de propriedade, pode-se tirar proveito físico e químico.

Em muitos casos utilizam-se do catalisador para acelerar reações químicas. Para outros processos podem ser adicionados com o objetivo de alterar as propriedades do material base da solução.

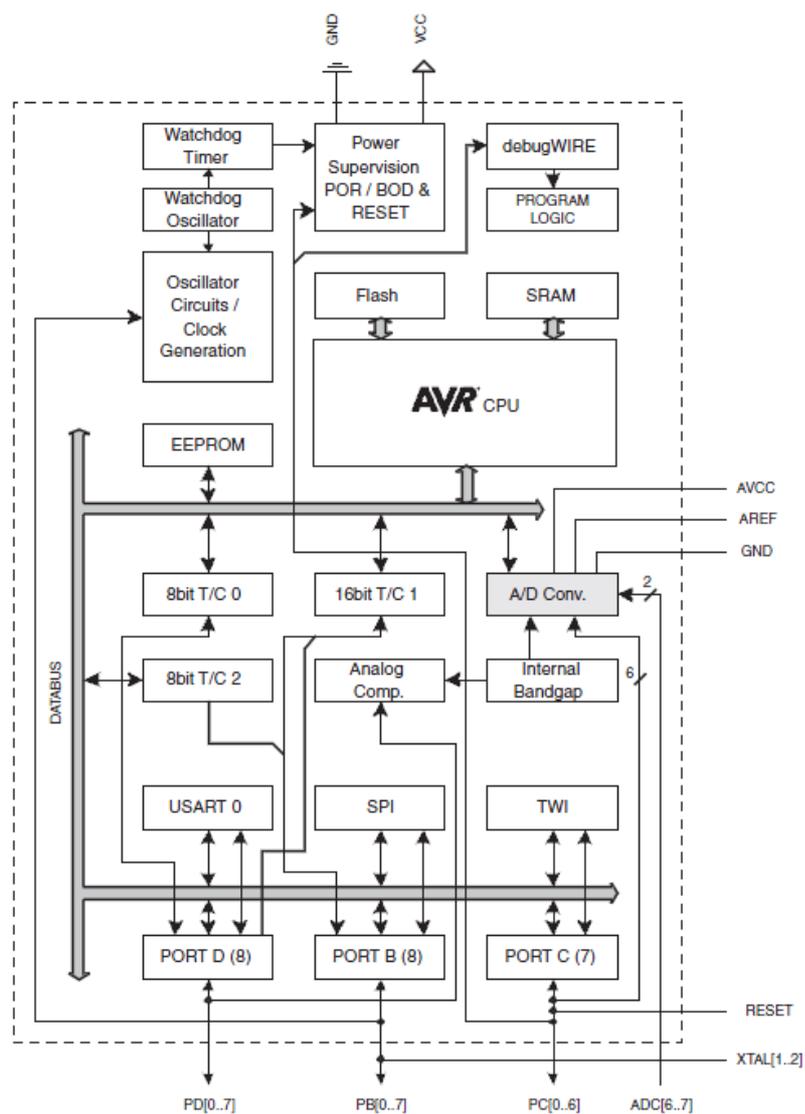
## 2.4 DESAERADOR

O desaerador é um equipamento desenvolvido com a função de retirar o oxigênio através do vácuo, em um processo fechado. A utilização desse método apresenta diferentes aplicações, dependendo do processo industrial considerado. Por exemplo, em caldeiras, o processo de desaerar retira gases não condensáveis (oxigênio e dióxido de carbono livre) da água utilizada para alimentar caldeiras e de retorno de condensado. A presença desses gases acelera o processo de corrosão das tubulações, da caldeira e das linhas de retorno, como também pode danificar as bombas (AQUAFIL, 2013).

Em processos industriais que envolvem mistura de produtos de alta viscosidade, como é o caso da produção de Poliuretano, a desaeração é essencial. Durante a agitação do processo de mistura é normal que bolsas de ar ou gás fiquem dentro do produto. Esse efeito é indesejável em peças de Poliuretano, pois diminui a resistência mecânica e gera superfícies porosas. Com aplicação deste processo consegue-se garantir a qualidade do produto, pois tornam-se quimicamente mais estáveis.

## 2.5 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador é uma CI ou CHIP no qual comporta todos os componentes necessários ao controle de um processo, **Figura 3**, contendo memória de programa, memória de dados, portas de entradas e/ou saídas paralelas, timer's, contadores, comunicação serial, PWM's, conversores analógicos digitais, etc. Nesse componente eletrônico pode ser gravada toda a lógica de operação para o controle de seus periféricos, controlando assim tudo que estiver ligado a ele, como LED's, botões, *display*, resistências, relês, sensores, e muitos outros (SOUZA, 2001).



**Figura 3 - Diagrama em Blocos do Microcontrolador**  
**Fonte: Datasheet do Microcontrolador ATMega 168 (2001).**

Os primeiros microcontroladores tinham seus programas escritos com códigos nomeados códigos de máquina, uma programação complexa que gerava elevado custo além de muito tempo de desenvolvimento (PEREIRA, 2003).

Pelo rápido crescimento da necessidade de desenvolvimento de sistemas foi desenvolvida uma nova forma de programação, a linguagem *assembly*. Essa nova forma de programar utiliza termos que descrevem a operação executada em código de máquina. Mas para realizar a conversão dos termos em linguagem executável pela máquina faz-se necessário um tipo de programa chamado *Assembler* (Montador). No entanto, a programação em *Assembler* ainda apresenta alta complexidade, levando ao desenvolvimento da Linguagem C (PEREIRA, 2003).

A linguagem C foi elaborada para ter o menor conjunto de comandos quanto possível, mas ainda assim é altamente flexível e poderosa. Dessa forma, C concede a curva de aprendizado mais elevada, permitindo a criação de programas extremamente rápidos, além de gerar uma grande economia de memória (SÁ, 2005).

Dessa forma, a utilização de programação em C para microcontroladores parece uma escolha óbvia. Por isso, atualmente, a maioria dos microcontroladores possuem compiladores de linguagem C, auxiliando na popularização dessa ferramenta (PEREIRA, 2003).

## 2.6 ARDUINO

Em busca de um meio mais barato e fácil para utilizar a tecnologia dos microcontroladores por pessoas que não são da área, o professor Massimo Banzi, em 2005, na Itália, iniciou os estudos de uma plataforma alternativa para as existentes na época, o Arduino. Essa novidade se espalhou rápido e atualmente foi alcançada a marca de 300 mil unidades de placas oficiais vendidas em todo o mundo (EVANS et al, 2013). Entretanto por ser uma placa de fonte aberta existem muitas variações do projeto oficial disponíveis no mercado, sendo dessa forma, impossível calcular a quantidade real de usuários dessa ferramenta. Dentre os modelos oficiais, o Arduino Uno destaca-se como um dos mais populares, Figura 4. Tanto o *hardware* como o *software* do Arduino é de fonte aberta, isso traduz que o código, os esquemas e o projeto podem ser usados por qualquer pessoa para qualquer finalidade (MCROBERTS, 2011).

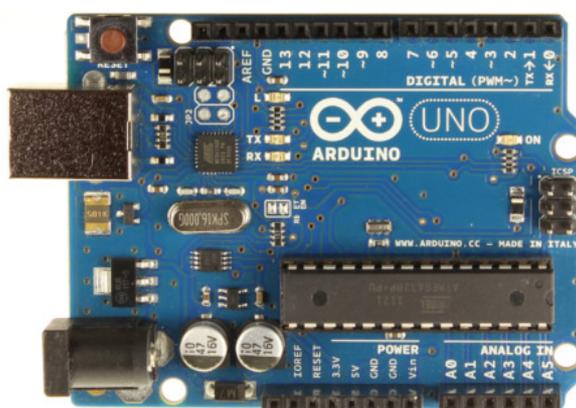


Figura 4 – Arduino Uno  
Fonte: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

O Arduino surgiu para oferecer uma plataforma de implementação fácil, para projetos interativos, baseado em um microcontrolador. Por possibilitar uma curva de aprendizagem relativamente pequena, mesmo pessoas que não são da área técnica conseguem criar seus próprios projetos em um tempo relativamente pequeno. Dessa forma, cada vez mais pessoas reconhecem o grande potencial dessa ferramenta e passam também a contribuir com o desenvolvimento do Arduino (MCROBERTS, 2011).

Como os projetos são de fonte aberta existe uma grande quantidade de placas de extensão para o Arduino, que são totalmente compatíveis com o Arduino genuíno, assim como, com seus clones. Essas placas de extensão (Shields) contêm dispositivos como displays LCD, receptores GPS, módulos Ethernet que garantem ao Arduino novas funcionalidades (MCROBERTS, 2011).

As versões mais recentes e mais populares de Arduino, Uno e Duemilanove, usam o microprocessador ATmega328 de 8 bits com memória flash de 32KB, essas placas contêm 14 pinos digitais possibilitando escolher entre entrada ou saída além de seis entradas analógicas. Dentre os terminais de entrada ou saída digitais, seis podem ser programados para fornecer uma modulação por largura de pulso (PWM) (EVANS et al, 2013).

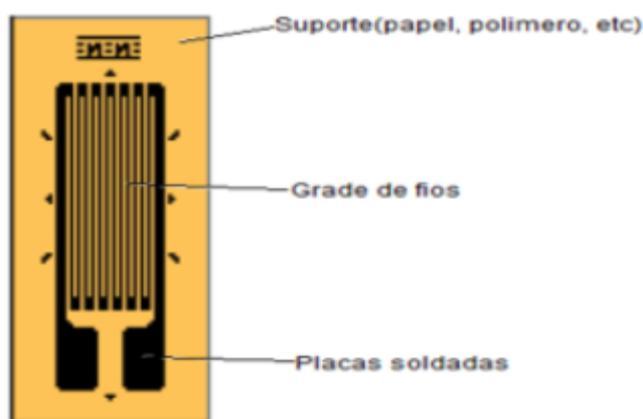
A programação é desenvolvida em um *software* de interface integrada de desenvolvimento (IDE), que possui facilidades como a inclusão automática das bibliotecas utilizadas. Toda a programação (sketches) do Arduino é baseada na linguagem C++, e pode ser transferida do ambiente de desenvolvimento, o computador, para a memória *flash* do Arduino via porta USB. O Arduino executará essas instruções interagindo com o que estiver conectado a ele (MCROBERTS, 2011).

## 2.7 CÉLULA DE CARGA

Os sensores de pressão eletrônicos podem ser divididos em ativos e passivos. O sensor ativo gera uma pequena tensão em função da pressão mecânica aplicada, como é o caso do cristal piezoelétrico. Já o sensor eletrônico passivo varia a resistência em função da tensão aplicada, por isso precisa de uma alimentação para funcionar, representado pelo *strain gauge* (RIBEIRO, 2005).

O *strain gauge* pode ser usado para medir torque, peso, velocidade, aceleração, além de pressão. Com a característica de variar sua resistência elétrica quando aplicado uma pressão positiva (compressão) ou negativa (descompressão), o *strain gauge* é o elemento sensor de pressão eletrônico mais usado em processos industriais (RIBEIRO, 2005).

A célula de carga consiste em um transdutor de força, no qual transforma a deformação mecânica dos extensômetros, *strain gauge*, em variação de tensão. Os extensômetros são ligados em um circuito denominado de ponte de Wheatstone, utilizado para medir o desbalanceamento entre os extensômetros, gerado pela deformação sofrida da estrutura, conforme a Figura 5.

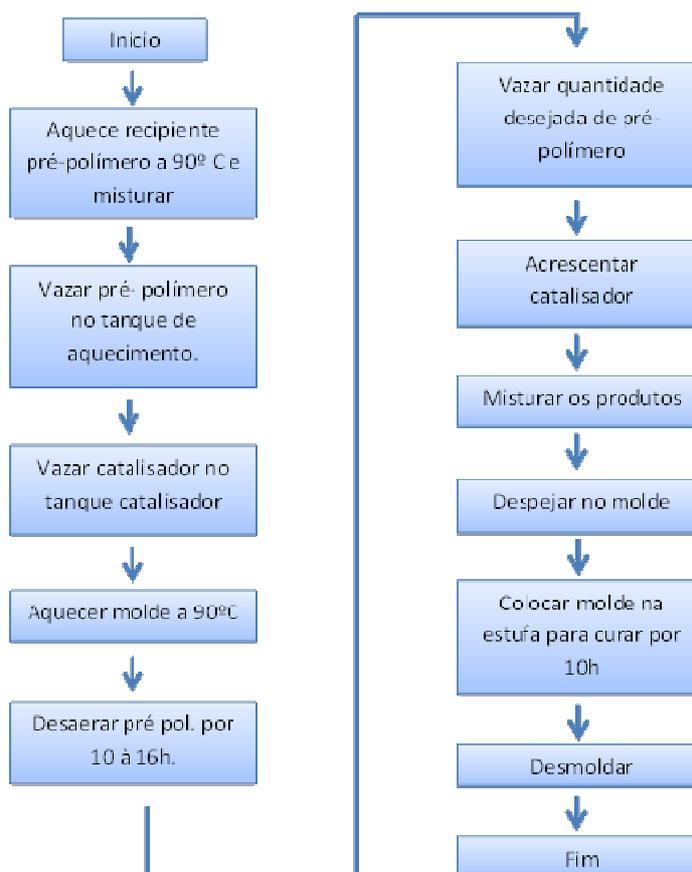


**Figura 5 – Extensômetro**  
**Fonte: Carer; Carraro (2010)**

### 3 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

O projeto de automatização da fabricação de polímeros foi desenvolvido com base nos requisitos necessários para obter um produto final com qualidade, seguindo os parâmetros solicitados na especificação da matéria-prima.

O fluxo do processo está definido conforme a Figura 6.



**Figura 6 - Fluxograma do Processo**  
**Fonte: Autoria própria**

O projeto basicamente é dividido em três partes: mecânica, eletro-eletrônica e controle. A integração das partes está de acordo com o funcionamento do equipamento.

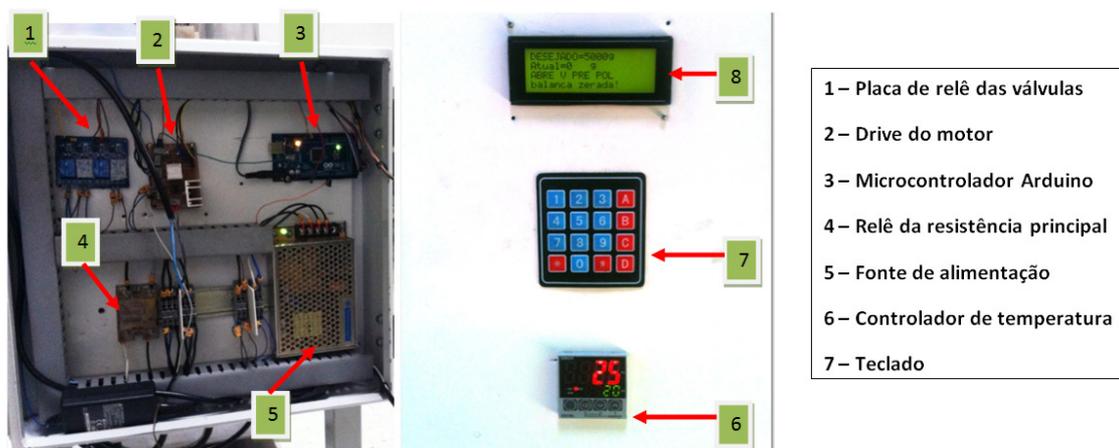
- Sistema mecânico: composto de tanques de armazenamento de pré-polímero e catalisador, possui controle de temperatura e pressão (vácuo). Toda a pressão necessária para o processo de desaeração é gerada por uma bomba de

vácuo. São utilizadas válvulas de controle e bloqueio como atuadores do sistema, e a mesa de apoio é composta de célula de carga no centro de massa. Todo o funcionamento está em função dos valores de peso e proporção selecionados pelo operador. Na Figura 7 a vista geral e a nomenclatura de cada componente



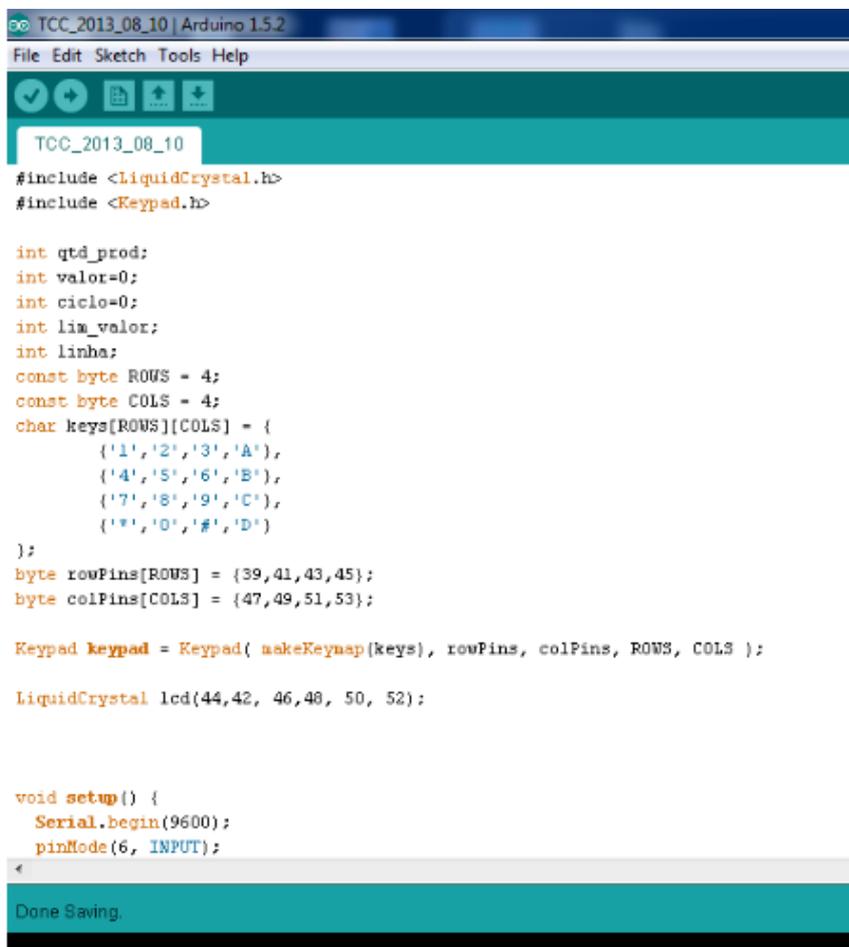
**Figura 7 - Detalhamento do Projeto Mecânico**  
Fonte: Autoria própria

- Sistema eletro-eletrônico: possui a parte de potência para alimentação do motor e resistência, e placas de leitura dos valores da célula de carga e controle ON-OFF de temperatura, conforme a Figura 8.



**Figura 8 – Detalhamento da Montagem Elétrica**  
Fonte: Autoria própria

- Controle: foi desenvolvido baseando-se na resposta do sistema mecânico e com a integração dos parâmetros de especificação do pré-polímero.



```
TCC_2013_08_10 | Arduino 1.5.2
File Edit Sketch Tools Help

TCC_2013_08_10

#include <LiquidCrystal.h>
#include <Keypad.h>

int qtd_prod;
int valor=0;
int ciclo=0;
int lia_valor;
int linha;
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {39,41,43,45};
byte colPins[COLS] = {47,49,51,53};

Keypad keypad = Keypad( makeKeypad(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );

LiquidCrystal lcd(44,42, 46,48, 50, 52);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(6, INPUT);
}
```

Done Saving.

Figura 9 – Exemplo do Ambiente de Programação  
Fonte: Autoria própria

### 3.1 MECÂNICA

O projeto mecânico contém componentes desenvolvidos especificamente para cada produto (pré-polímero ou catalisador), em função das diferentes propriedades, como viscosidade e temperatura de trabalho. Os volumes dos tanques foram projetados para evitar perdas, respeitando a proporção de pré-polímero *versus* catalisador.

### 3.1.1 Estrutura

Para sustentação de todo o conjunto foi necessário o projeto de uma estrutura metálica em aço (metalon) para acomodar todos os componentes em um menor espaço possível, evitando assim a troca de calor durante o escoamento. Estrutura conforme as Figura 10 e Figura 11.



**Figura 10 - Estrutura em Fase de Acabamento**  
Fonte: Autoria própria



**Figura 11 – Projeto da Estrutura**  
Fonte: Autoria própria

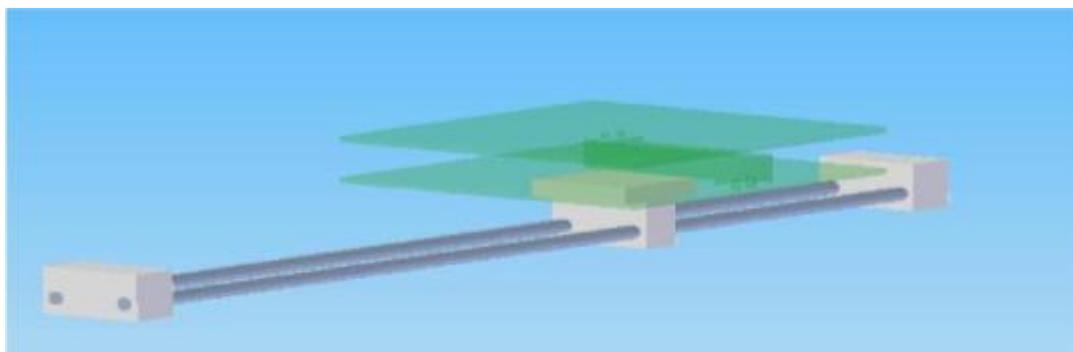
### 3.1.2 Base de Movimentação Horizontal

Após o escoamento do pré-polímero e catalisador, é necessário que o material seja transferido para o processo posterior de mistura, assim foi aplicado um conjunto com dois perfis trefilados com diâmetro de 12mm, como guia da mesa, conforme a Figura 12.



**Figura 12 – Base de movimentação com guias**  
**Fonte: Autoria própria**

A seguir, na Figura 13, o projeto inicial da mesa.



**Figura 13 – Modelagem do Sistema de Movimentação**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.1.3 Mancal

O mancal de apoio é fabricado em Nylon, e possui dois rolamentos lineares LM12 que permitem o deslocamento, conforme a Figura 14, evitando o travamento do conjunto.

Para montagem deste conjunto é necessário alinhar os dois rolamentos de forma concêntrica as guias, pois qualquer desvio ocorre travamento.



**Figura 14 – Mancal da Mesa de Movimentação**  
**Fonte: Autoria própria**

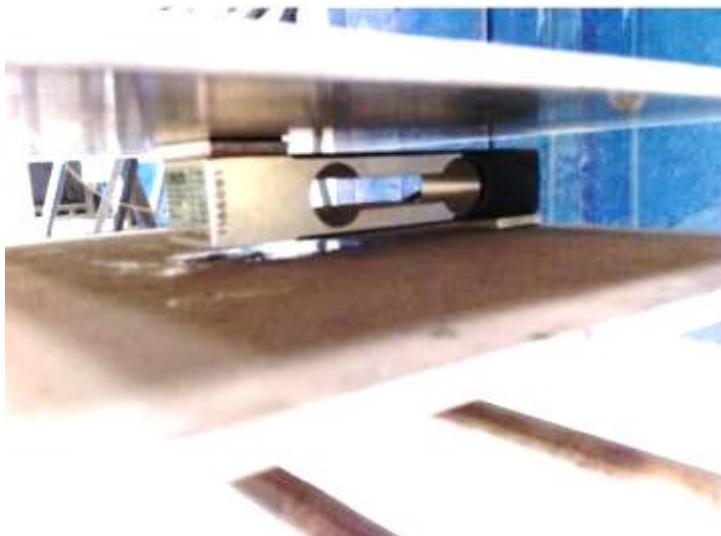
#### 3.1.4 Mesa

Para acomodar a célula de carga, foi desenvolvida uma mesa que protege a célula do material quente, conforme a Figura 15.

O conjunto foi fabricado em alumínio em função de a sua densidade ser inferior ao aço, diminuindo a carga estática aplicada, conforme a Figura 16.



**Figura 15 - Mesa Completa**  
**Fonte: Autoria própria**



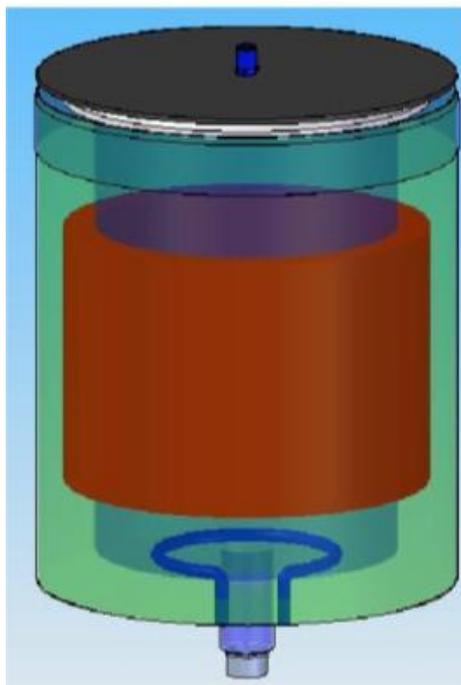
**Figura 16 - Montagem da Célula de Carga no Centro da Mesa**  
**Fonte: Autorial própria**

### 3.1.5 Tanque de Pré-Polímero

O pré-polímero possui uma das fases que necessita de aquecimento para obter propriedades adequadas para mistura e desaeração, assim o tanque de pré-polímero foi projetado, Figura 17, na aplicação de uma resistência tipo colar ao redor da sua circunferência, Figura 18.

Todo o tanque é fabricado em aço inoxidável e com formato circular, sendo diâmetro de 300 mm e altura de 400 mm, gerando capacidade volumétrica de 27 litros. Para facilitar o escoamento do fluído, foi necessário que o fundo apresentasse diâmetro 2" de saída.

Na parte externa, para evitar qualquer contato do operador com a resistência, foi utilizada uma chapa de proteção com o mesmo formato do tanque, envolvendo-o completamente, Figura 19.



**Figura 17 – Modelo do Tanque de Aquecimento**  
Fonte: Autoria própria



**Figura 18 - Tanque de Pré-Polímero com Resistência Tipo Colar**  
Fonte: Autoria própria



**Figura 19 - Capa Interna**  
**Fonte: Autoria própria**

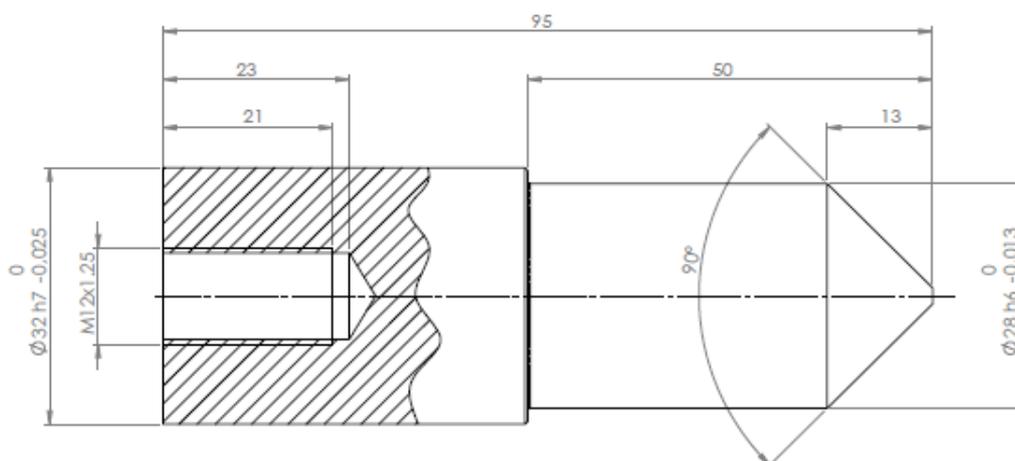


**Figura 20 - Tanque com a proteção externa e tampa**  
**Fonte: Autoria própria**

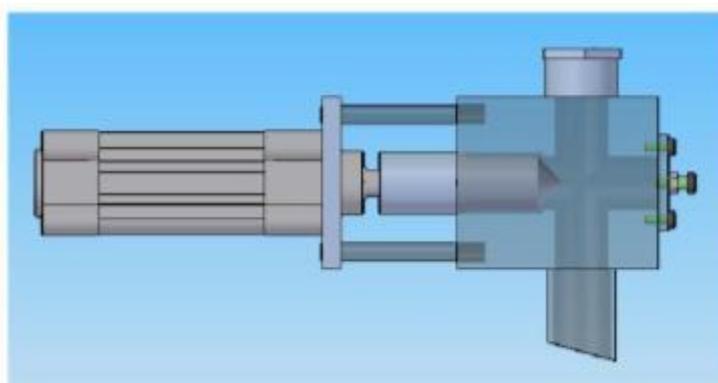
### 3.1.6 Válvula de Controle do escoamento do Pré-Polímero

A viscosidade e a propriedade de se aderir, quando em contato com material metálico, são as principais características do pré-polímero e que foram levadas em consideração na construção da válvula de controle. Tomaram-se como base do





**Figura 22 - Êmbolo da Válvula de Controle**  
**Fonte: Autoria própria**



**Figura 23 - Montagem do Conjunto**  
**Fonte: Autoria própria**

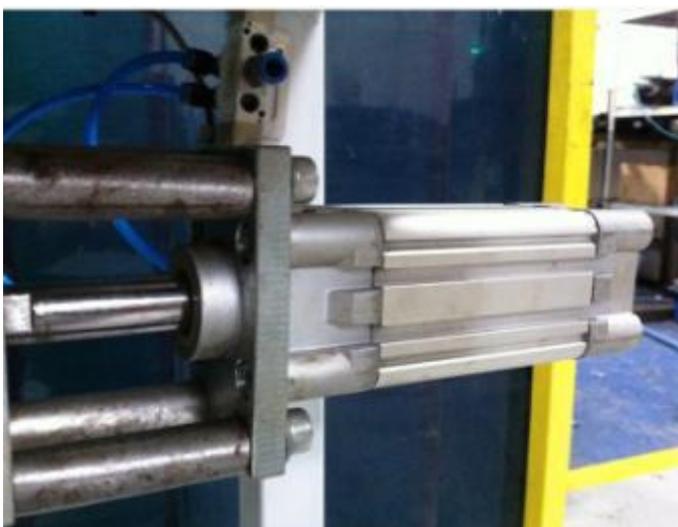
Para aquecer o material que está na válvula, foi acoplada uma resistência. Na Figura 24 pode-se observar a montagem do conjunto juntamente com a resistência.



**Figura 24 – Conjunto Montado com a Resistência**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.1.7 Atuador Pneumático

Para controle de abertura e fechamento da válvula de bloqueio, foi montado um cilindro pneumático Festo DNC 40-100 com êmbolo de diâmetro de 40 mm e curso de 100 mm, conforme a Figura 25. O cilindro é fixado na face lateral da válvula através de flange, e possui o êmbolo da válvula rosqueado na haste do cilindro.

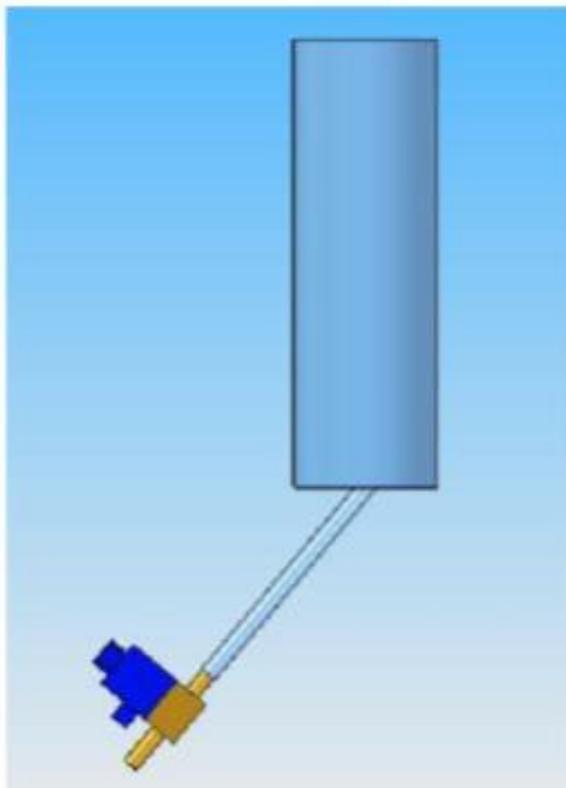


**Figura 25 – Atuador Pneumático**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.1.8 Tanque de Catalisador

O catalisador possui em média a proporção de 15% em relação ao volume do pré-polímero, contudo o tanque desenvolvido apresenta capacidade volumétrica de 3 litros, conforme o projeto inicial da Figura 26.

O material utilizado na fabricação é o aço inoxidável 304, no formato cilíndrico que facilitou na acomodação mantendo todo o conjunto próximo. Para facilitar no controle da quantidade de catalisador vazado, a saída do tanque possui uma válvula de bloqueio próximo do recipiente com o intuito de evitar adição de catalisador além do necessário. A Figura 27 apresenta o tanque de catalisador.



**Figura 26 – Projeto do Tanque de Catalisador com válvula solenóide**  
Fonte: Autoria própria



**Figura 27 - Tanque de Catalisador**  
Fonte: Autoria própria

### 3.1.9 Válvula de Bloqueio

A válvula de bloqueio (2/2 vias) ou válvula solenóide foi adquirida comercialmente com a característica de possuir diafragma em PTFE (Teflon), material inerte a todos os tipos de produtos. O seu diâmetro “de 1/4”, possibilitou que todo o catalisador escoasse de forma contínua, Figura 28.

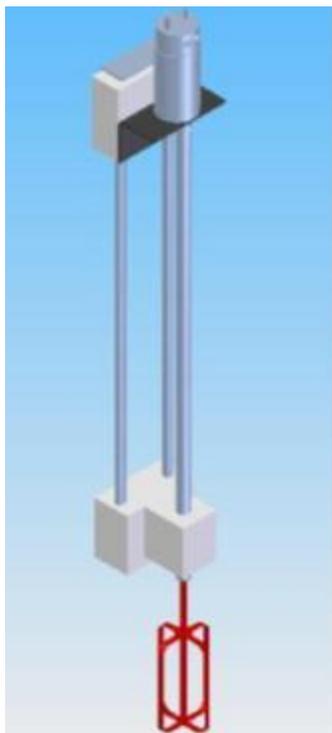
A bobina de 24 Vdc é comutada através do sinal enviado pelo controlador.



**Figura 28 - Válvula Solenóide com Bobina 24 Vdc**  
**Fonte: Autoria própria**

#### 3.1.10 Misturador

Após o escoamento dos dois produtos, é necessário que de forma controlada ambos se misturem a fim de homogeneizar a solução. O conjunto misturador é guiado com perfil trefilado para deslocamento na vertical, e é movido através de um motor DC que possui um controlador de rotação, sendo possível o controle em função da massa a ser misturada. Para transmissão de torque, foi fabricado um eixo com 300 milímetros de comprimento acoplado no motor e com hélice na outra extremidade, conforme a Figura 29 e Figura 30.



**Figura 29 – Projeto do Misturador**  
Fonte: Autoria própria



**Figura 30 - Sistema de Mistura**  
Fonte: Autoria própria

### 3.1.11 Resistência

O projeto é composto de quatro resistências elétricas sem contato. Na base foi acoplada uma resistência de 900W com alimentação de 220V, com intuito de aquecimento da parte inferior, conforme a Figura 31. Para garantir aquecimento uniforme do produto foi desenvolvido uma segunda resistência tipo coleira que envolvesse todo o tanque, o dimensionamento foi em função da temperatura de trabalho do produto e energia necessária, tendo a potência 7,5KW com alimentação de 220V, Figura 32. Após vários testes com apenas estas duas resistências, foi analisado que havia grande troca de calor do produto com a válvula de bloqueio. Para solucionar foram adicionadas duas resistências tipo placa, que são fixadas no corpo da válvula e possuem potência de 200W cada, conforme Figura 33.

A fabricação foi realizada externamente por fornecedores que possuem equipamentos especiais. Durante o manuseio e instalação foi necessário cuidado pela fragilidade e ligação elétrica.



**Figura 31 - Resistência Inferior e a Tipo Coleira Montada na Lateral**  
**Fonte: Autoria própria**



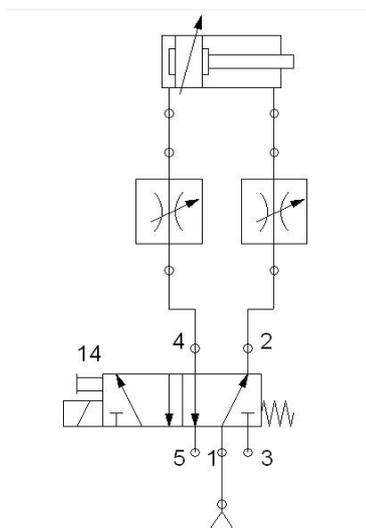
**Figura 32 - Resistência Tipo Coleira sem Contato**  
Fonte: Autoria própria



**Figura 33 - Resistência de Placa fixada na Válvula de Bloqueio.**  
Fonte: Autoria própria

### 3.1.12 Circuito Pneumático

O circuito pneumático atua para fechamento e abertura da válvula de controle do tanque de Pré-polímero, consiste na alimentação pneumática, válvula direcional 5/2 vias simples solenoide com retorno mola (SMC), válvulas reguladoras de fluxo (GRLA-Festo), atuador tipo cilindro (DNC-40-100-Festo) e mangueiras (diâmetro de 6 mm Festo), conforme a Figura 34.

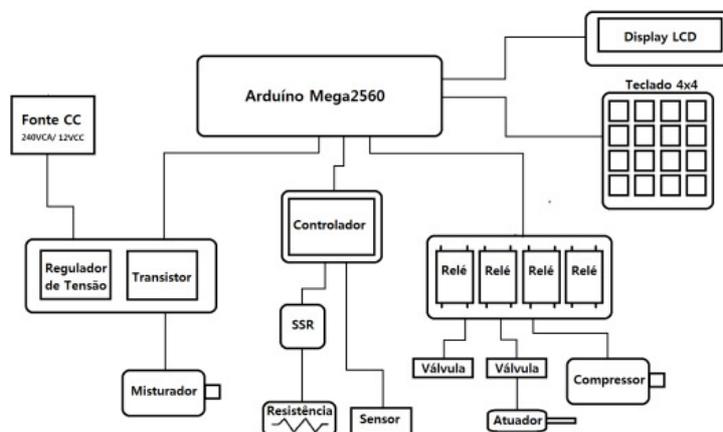


**Figura 34 – Sistema Pneumático**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.2 ELETRO-ELETRÔNICA

As conexões dos diversos componentes eletro-eletrônicos que integram o sistema estão representados na Figura 35 e classificados a seguir de acordo com sua função:

- Controle: Microcontrolador Arduino Mega 2560; controlador de temperatura OMRON;
- Interface: Display LCD 20x4, teclado matricial 4x4
- Acionamentos: Placa de relés, SSR, transistor Tip 31C.
- Sensores: Célula de carga, termopar tipo J
- Fonte: Fonte 220VCA/24VCC, fonte 220VCA/12VCC



**Figura 35 - Diagrama de Interligação dos Componentes Elétricos**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.2.1 Arduino

O sistema eletrônico foi desenvolvido com base na utilização do Arduino Mega 2560, Figura 36. Como o microcontrolador do projeto. Esse *Hardware* possui 54 entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset.



**Figura 36 – Arduino Mega2560**  
Fonte: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

O Arduino realiza o processamento das informações obtidas da célula de carga garantindo a correta dosagem do pré-polímero e do catalisador de acordo com os dados inseridos pelo usuário. O microcontrolador também realiza o controle de cada etapa do processo produtivo de acordo com o fluxograma do processo.

### 3.2.2 Controlador de Temperatura

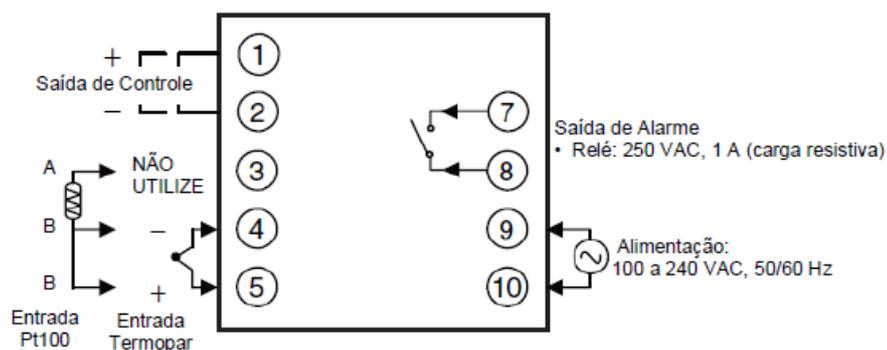
O controle de aquecimento do pré-polímero é realizado por um controlador da OMRON, modelo E5CWL, **Figura** Figura 37 e Figura 38 e que executa a leitura do termopar e executa um comando ON/OFF na resistência de aquecimento. O controlador possibilita também a programação de uma histerese, um valor diferente entre o valor máximo de temperatura para desligar a resistência e o valor mínimo de temperatura para que a resistência seja ligada.



**Figura 37 - Controlador de Temperatura OMRON - E5CWL**  
**Fonte: Datasheet E5CWL (2010).**

#### Saída de Controle

- Relé: 250 VAC, 3 A (carga resistiva)
- Tensão (para SSR) 12 VDC, 21 mA



**Figura 38 – Conexões Externas do OMRON - E5CWL**  
**Fonte: Datasheet E5CWL (2010)**

### 3.2.3 Interface com o Usuário

Garantindo a interação com o usuário, o sistema possui display LCD 20x4, Figura 39, para a visualização da etapa de fabricação que o sistema se encontra e um teclado de membrana matricial 4x4 com 16 teclas, Figura 40, que possibilita entrar com informações de quantidade de produto final desejado e a proporção Pré-polímero/Catalisador.



Figura 39 – *Display* e Teclado  
 Fonte: [www.lojabrasilrobotics.blogspot.com.br](http://www.lojabrasilrobotics.blogspot.com.br).

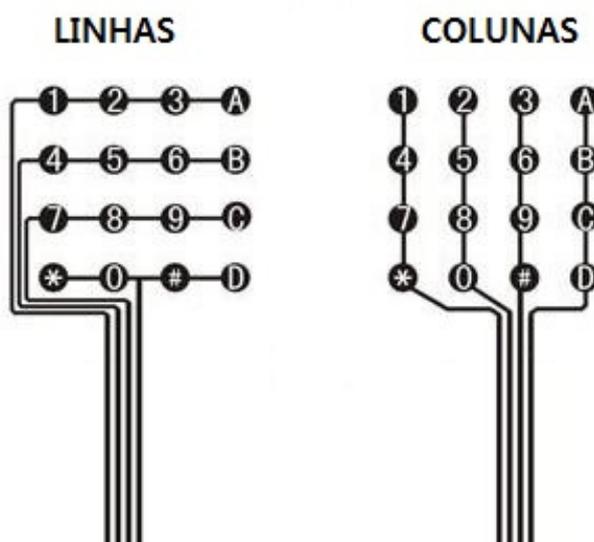


Figura 40 - Ligação do Teclado Matricial  
 Fonte: [www.lojabrasilrobotics.blogspot.com.br](http://www.lojabrasilrobotics.blogspot.com.br)

### 3.2.4 Circuito com Relés

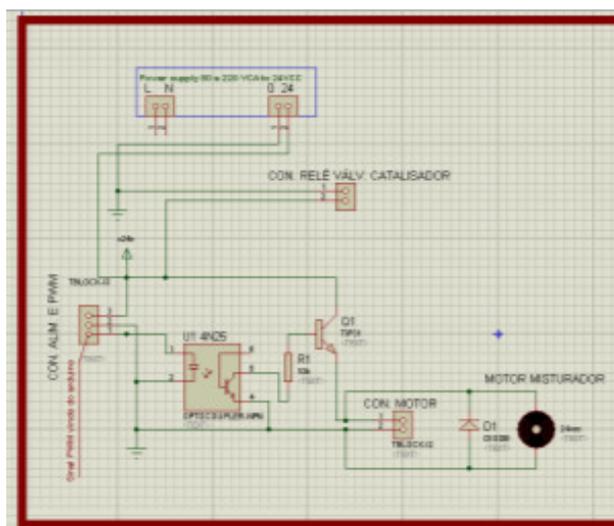
Os acionamentos por relé permitem que os atuadores se encontrem em apenas dois estados, ligado ou desligado. Essa atuação é necessária em varias etapas do processo, por isso uma placa constituída por quatro relés, Figura 41 integra o sistema, realizando o acionamento dos seguintes atuadores: válvula do Pré-polímero, válvula do catalisador, bomba de vácuo.



**Figura 41 – Placa de relés**  
**Fonte: [www.lojabrasilrobotics.blogspot.com.br](http://www.lojabrasilrobotics.blogspot.com.br)**

### 3.2.5 Circuito Transistorizado

Para o controle da rotação do motor do misturador, foi desenvolvido um circuito transistorizado, possibilitando assim, o controle de motores de corrente contínua por Modulação de Largura de Pulso (PWM). A placa, Figura 42, é formada pelo CI 4n25, um opto-acoplador, que garante o isolamento entre circuito de controle e circuito de potência, e o transistor TIP31C para o acionamento efetivo do motor. A geração de pulso PWM é de responsabilidade do microcontrolador, os parâmetros do controle PWM podem ser alterados pelo usuário via teclado, alterando assim a rotação do motor do misturador.



**Figura 42 – Placa de Controle Motor Misturador**  
**Fonte: Autoria própria**

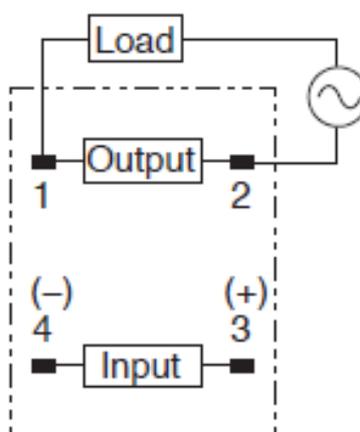
### 3.2.6 Relé de Estado Sólido

Um relé de estado sólido (SSR) foi utilizado no acionamento da resistência de aquecimento do pré-polímero. Esse componente possui a vantagem de realizar chaveamentos em frequência, sem sinais sonoros e sem desgaste interno além de ocupar menos espaço em comparação com contatores e relés com a mesma capacidade de acionamento, Figura 43.



**Figura 43 - SSR OMRON Modelo G3NA**  
**Fonte: Datasheet G3NA (2010).**

As entradas de sinal, terminais 3 e 4, podem ser acionadas por tensão que variam de 5 à 24V, sendo compatível com circuitos TTL. Já as saídas, terminais 1 e 2, conseguem acionar cargas de 24 à 240V em até 10 A de corrente elétrica, conforme Figura 44.



**Figura 44 - Conexões Externas do SSR OMRON G3NA**  
**Fonte: Datasheet G3NA (2010).**

### 3.2.7 Célula de Carga

Pela necessidade de se dosar dois materiais, pré-polímero e catalisador, foi utilizada uma célula de carga adquirida da Alfa Instrumentos, modelo GL10, conforme Figura 45. Esse componente possui sensibilidade de 2mV/V e pode ser usado para no máximo 10Kg.



**Figura 45 - Célula de Carga Alfa Instrumentos, Modelo GL10.**  
Fonte: Datasheet GL10 (2012).

Como os sinais da célula de carga não são suficientes para a leitura do microcontrolador fez-se necessário a utilização de um amplificador. O amplificador da SMOWO com saída de 0 à 5V/ 4 à 20mA, conforme Figura 46.



**Figura 46 - Amplificador SMOWO**  
Fonte: Autoria própria

O sinal enviado pela célula de carga é amplificado, e após enviado para o Arduino que converte este sinal elétrico em um valor em massa, e assim armazenado no microcontrolador.

### 3.2.8 Misturador

Para realizar a homogeneização da mistura do pré-polímero com o catalisador, o misturador conta com um motor de corrente contínua com caixa de redução, Figura 47. Pelo fato de não ser necessário altas rotações, foi adquirido da Akyama um motor C.C. com caixa de redução, modelo AK550. Dessa forma, pode-se ter um motor pequeno com 37 mm de diâmetro e 108,6mm de comprimento, com capacidade de torque o suficiente para realizar a mistura. Esse motor também apresenta a vantagem de ter seu controle de rotação facilitado, em comparação com os motores de corrente alternada,



**Figura 47 - Motor de Corrente Contínua da Akyama, Modelo AK550. Fonte: Datasheet AK550 (2010).**

## 3.3 CONTROLE

O sistema de controle é composto basicamente por um microcontrolador arduino, responsável pela integração das partes de intertravamento lógico, aquisição de dados, execução de ações e um controlador de temperatura responsável pelo controle do aquecimento do pré-polímero.

### 3.3.1 Lógica de Controle da Planta

Dois produtos são inseridos em cada um dos reservatórios. Um destes é aquecido e submetido à pressão negativa para eliminar bolhas de ar (processo denominado desaerar), após isso o operador insere os valores desejados de produto a ser fabricado, o microcontrolador converte os dados fornecidos pelo usuário e

compara com o sinal vindo da célula de carga, e faz a dosagem destes dois produtos via acionamento de suas respectivas válvulas. Os produtos já vazados no reservatório, o mesmo é posicionado no misturador. O Arduino gera frequências PWM para controlar a velocidade do motor do misturador, finalizando assim todo o processo.

### 3.3.2 Grafcet da Programação do Microcontralador

Para aperfeiçoar o funcionamento do equipamento, depois de finalizado o ciclo, o sistema retorna a etapa “0” aguardando o início de uma nova fabricação. Na Figura 48 apresenta o fluxograma do processo.

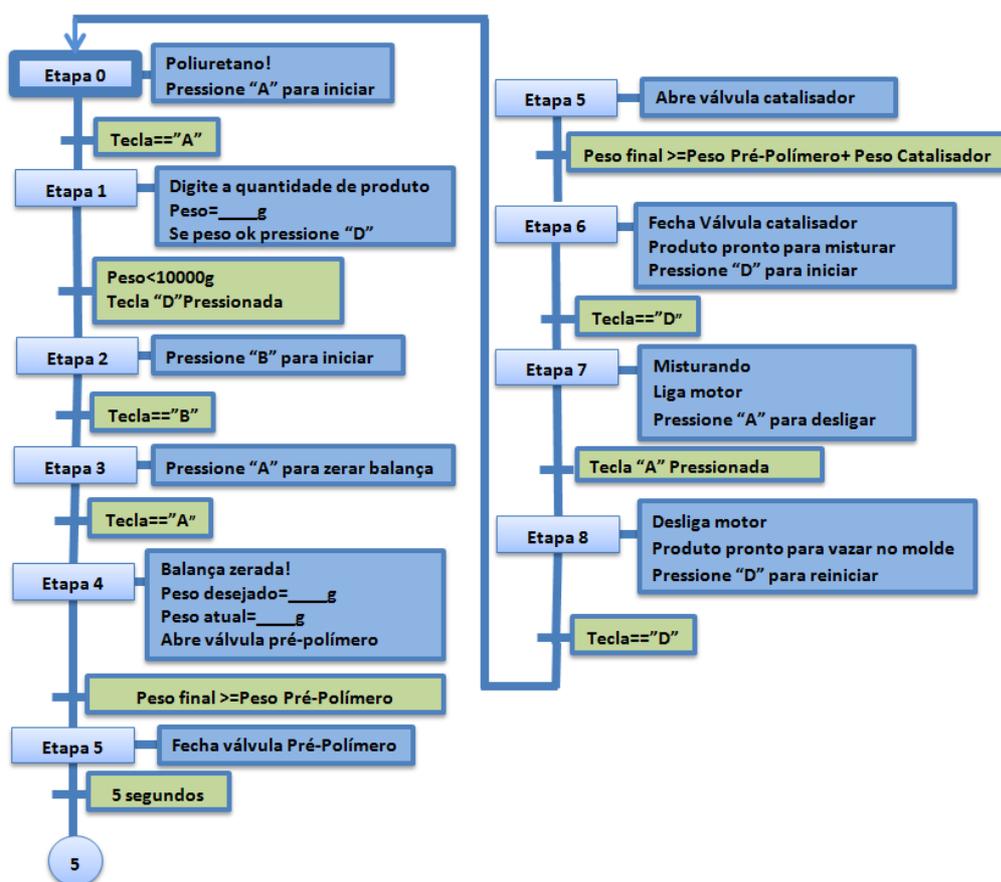


Figura 48 – Grafcet do Programa  
Fonte: Autoria própria

O Apêndice B apresenta o programa completo desenvolvido.

### 3.3.3 Entradas e Saídas do Microcontrolador

Segue Figura 49 com descrição e utilização das entradas e saídas do microcontrolador Arduino Modelo Mega 2560.

Item	Descrição	Endereço	Tipo	Observações
1	Teclado	39	Entrada Digital	Linha1
2	Teclado	41	Entrada Digital	Linha2
3	Teclado	43	Entrada Digital	Linha3
4	Teclado	45	Entrada Digital	Linha4
5	Teclado	47	Entrada Digital	Coluna1
6	Teclado	49	Entrada Digital	Coluna2
7	Teclado	51	Entrada Digital	Coluna3
8	Teclado	53	Entrada Digital	Coluna4
9	Potenciômetro	A2	Entrada Analógica	Regulador de Velocidade do Misturador
10	Célula de Carga	A3	Entrada Analógica	Célula de Carga para Peso de Produto
11	Display 16x4	52	Saída Digital	Transmissão de Dados para Display
12	Display 16x4	50	Saída Digital	Transmissão de Dados para Display
13	Display 16x4	48	Saída Digital	Transmissão de Dados para Display
14	Display 16x4	46	Saída Digital	Transmissão de Dados para Display
15	Display 16x4	44	Saída Digital	Transmissão de Dados para Display
16	Display 16x4	42	Saída Digital	Transmissão de Dados para Display
17	Válvula Catalisadora	9	Saída Digital	Válvula Catalisadora
18	Válvula Pré-polímero	11	Saída Digital	Válvula Pré-polímero
19	Motor misturador	5	Saída PWM	Saída para Driver Motor Misturador

**Figura 49 – Entradas e saídas microcontrolador**

Fonte: Autoria própria

## 4 TESTES E RESULTADOS

### 4.1 CÉLULA DE CARGA

Os testes iniciaram com o desenvolvimento do sistema de controle da célula de carga. Desenvolveu-se um circuito amplificador de sinal, que altera o sinal enviado pela célula de carga em função da entrada do Arduino possuir amplitude de leitura diferente.

Inicialmente houve dificuldade em ajustar o circuito, pois o alto ruído acabou influenciando todo circuito, e como consequência a variação de 30 gramas em relação ao peso real. Assim, optou-se pela aquisição de uma placa amplificadora importada, de baixo custo, que garantiu ajuste fino de *span* e fundo de escala, consequentemente atende a precisão solicitada de 5 gramas de pré-polímero.

### 4.2 TANQUE DE AQUECIMENTO DE PRÉ-POLÍMERO

No início do projeto o sistema de aquecimento de pré-polímero era composto apenas pela resistência do tipo coleira que envolve o tanque. Porém, após testes realizados notou-se que devido à baixa condutividade térmica, o produto apresentava diferença de temperatura de 30°C entre a superfície e o fundo do reservatório. Como solução foram instaladas duas resistências de menores potências, sendo uma peça do tipo ferradura no fundo do reservatório e outra tipo placa na própria válvula, garantindo a homogeneidade de temperatura.

### 4.3 VÁCUO

Para o processo de desaeração foi aplicada pressão negativa no tanque do pré-polímero, e a tampa foi destruída devido à baixa espessura e resistência mecânica. Foi fabricada outra peça com 4 milímetros de espessura.

### 4.4 TANQUE CATALISADOR

Em princípio o tanque de catalisador foi projetado sem tampa, mas como este produto possui alta viscosidade, houve dificuldade no escoamento. Assim tomou-se como solução a fabricação de uma tampa com grampos e borracha de vedação, que possibilitou a pressurização com pressão positiva, auxiliando no escoamento e diminuindo o tempo de dosagem.

#### 4.5 TESTES COM O PRODUTO

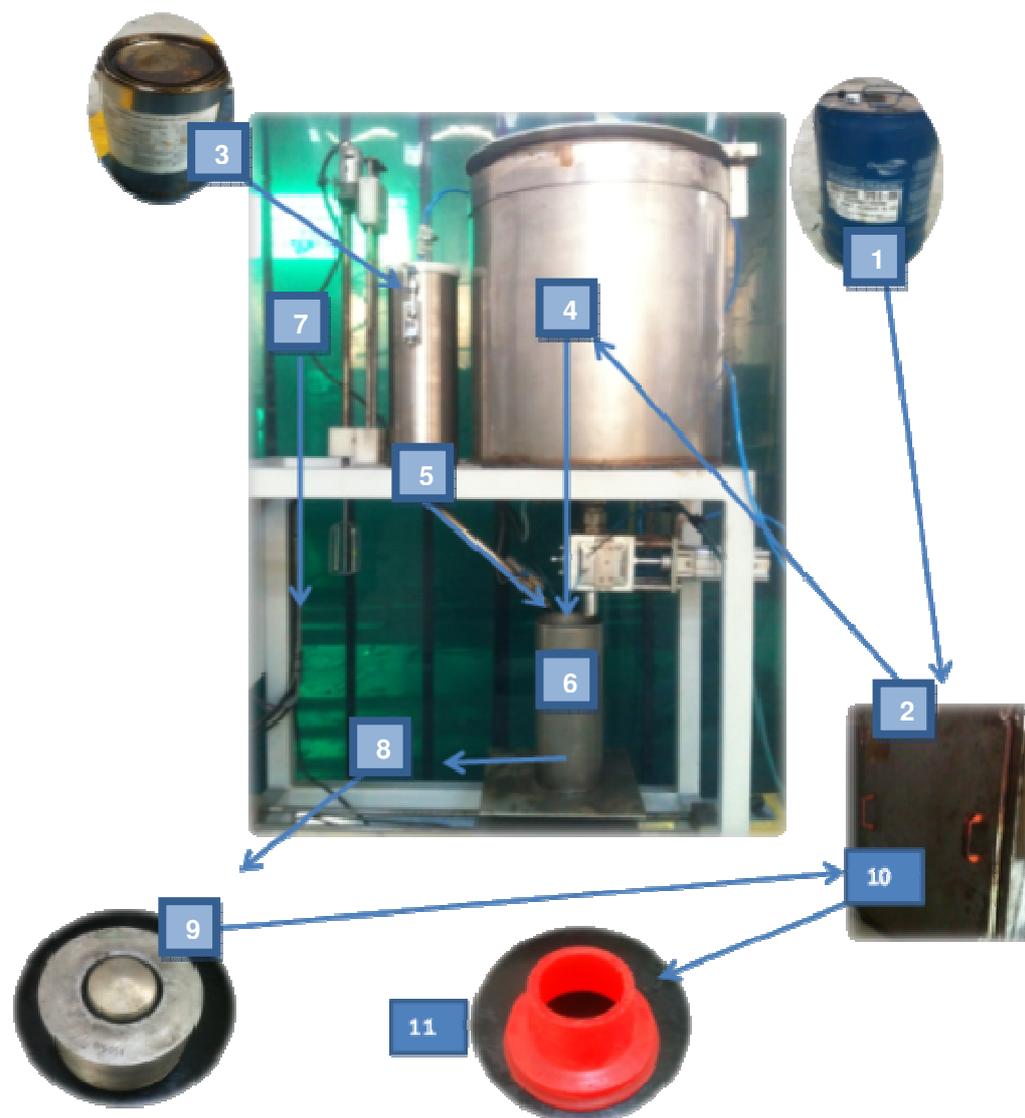
Após a solução dos problemas de projeto, foram ajustados os parâmetros a seguir, para operar na faixa coerente com a parte física do processo, são eles:

- Tempos de abertura, fechamento, velocidade e amortecimento do cilindro da válvula de controle do pré-polímero;
- Tempos de acionamento da válvula do catalisador;
- Rampas de aceleração, desaceleração, velocidade e tempo de mistura do motor.

Foram produzidos vários produtos com a qualidade esperada, porém há ainda recursos que podem ser melhorados.

#### 4.6 PROCESSO DETALHADO

Com a integração de todo o sistema, e melhorias realizadas a partir do projeto inicial, definiu-se o fluxo do processo, seguindo a ordem da Figura 50.



**Figura 50 – Fluxo do Processo**  
**Fonte: Autoria própria**

1. Aquecer galão de Pré-polímero a 70°C por 6 horas, rolar em superfície plana para homogeneizar o material;
2. Vazar no tanque de pré-polímero, respeitando a quantidade mínima de 1 kg;
3. Vazar no tanque de catalisador uma quantia superior a 10% da quantidade de Pré-polímero;
4. Após ligar a máquina seguir instruções no *display* e configurar os parâmetros necessários utilizando o teclado matricial. A bomba de vácuo é ligada e inicia-se o processo de desaeração que possui duração de 8h;

5. Nesta etapa a válvula do Pré-polímero é aberta, fazendo o produto escoar no recipiente do misturador. Quando o peso atinge 94% do valor desejado a válvula é fechada.
6. Após o período de 10 segundos a válvula do catalisador é aberta completando a mistura com 6% de produto;
7. Posiciona-se o reservatório na área de mistura, o motor no interior do reservatório e pressiona-se a tecla “D” no teclado para iniciar a mistura;
8. Após misturados retira-se o reservatório e o produto, deve ser rapidamente vazado no molde.
9. Na próxima etapa deve-se levar o molde ao forno de cura;
10. Após 2h submetido à temperatura de 100°C é feita a desmoldagem da peça, em seguida a peça volta ao forno para efetuar o processo de pós-cura por mais 6h.
11. Produto final pronto para ser utilizado.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste processo foi baseado, na maior parte, na experiência da própria empresa e de estudos de diversos outros sistemas similares.

Um dos grandes obstáculos enfrentados foi o desenvolvimento de um sistema que permitisse diminuir a troca de calor com o meio. A solução encontrada foi montar todo o conjunto de forma compacta, evitando assim o alto tempo de escoamento que poderia influenciar a queda de temperatura.

Como o pré-polímero possui alta viscosidade mesmo em elevada temperatura e por ser quimicamente reagente com outros materiais, foi desenvolvida uma válvula que não apresentasse qualquer tipo de plástico em sua composição, da mesma forma, em função da propriedade química do catalisador escolheu-se uma válvula com diafragma em Teflon (PTFE), material inerte.

O projeto inicial previa apenas uma resistência tipo colar de 7,5KW. Após vários testes foi analisado que o pré-polímero não era um bom condutor de calor, assim todo o material que ficava abaixo da resistência, principalmente na válvula, não era aquecido. Para solucionar este problema foi inserida outra resistência com menor potência, na base, que permitisse uma maior transferência de calor para onde havia deficiência.

Todos os objetivos iniciais do projeto foram alcançados, e o produto final apresentou qualidade esperada, garantindo um excelente custo-benefício.

## 6 SUGESTÃO DE MELHORIA

O trabalho teve como principal objetivo a fabricação de uma máquina com baixo custo, com isso alguns recursos não foram desenvolvidos.

Segue tópicos de futuras melhorias:

- Sistema de coloração automático que adicione pigmentos de acordo com a cor definida pelo usuário.
- Sistema de monitoramento *online* via PC ou *Smartphone* para visualizar variáveis, consultar etapas e alertar caso algum alarme ocorra, pois a máquina opera no período da noite sem supervisão de operadores devido ao longo período de aquecimento e do processo de desaerar;
- Troca da célula de carga e do amplificador por componentes com maior precisão e maior capacidade de carga;
- Troca do teclado e do *display* por IHM *touch screen* para melhor visualização do processo e troca de parâmetros.

## REFERÊNCIAS

ALFA Instrumentos Eletrônicos LTDA. **Datasheet Célula de Carga GL-10**. São Paulo, SP.2012.

AQUAFIL, TRATAMENTO DE ÁGUA. **Desenvolvimento de Desaeradores**. Disponível em: < <http://www.aquafil.com.br/desae.htm> >. Acesso em: 25 de maio de 2013.

ATMEL Corporation. **Datasheet Microcontroller Atmega168**. USA: San Jose, 2011. 377p.

BRASIL ROBOTICS. **Laboratório de Tecnologia: Robótica Arduino P&D**. Site. Disponível em: <<http://brasilrobotics.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 09 de junho de 2013.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002

CAPELLI, A. **Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos**. 2ª edição. São Paulo: Erica, 2006.

CARER, M; CARRARO, E. **Célula de Carga**. Artigo. Caxias do Sul, RS. 2010. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/46478581/Celulas-de-carga-Experimento>>. Acesso em: 23 de junho de 2013.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J.. **Arduino em Ação**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Novatec. 2013.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec editora, 2011.

NEOYAMA Automação. **Datasheet AK550/24-R350**. Joinville, SC.2010. 2p.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Rio de Janeiro: Prentice/Hall do Brasil, 1985.

OMRON Corporation. **Datasheet Controladores de Temperatura E5CSL/E5CWL**. São Paulo, SP. 2010. 8p.

OMRON Corporation. **Datasheet Solid State Relays G3NA**. São Paulo, SP. 2010. 23p.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. 2ª edição. São Paulo: Editora Érica. 2003.

PIRES, N. J. **Automação Industrial**. ETEP - Edição Técnica. 2012.

RIBEIRO, M. A. **Instrumentação**. Apostila Técnica. 2005.

SÁ, M. C. **Programação C para Microcontroladores 8051**. 1ª edição. São Paulo: Editora Érica. 2005.

SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. **Automação e Controle Discreto**. 9ª edição. São Paulo: Erica, 2002.

SITE OFICIAL. **Arduino**. Disponível em:< <http://arduino.cc/> >. Acesso em: 27 de maio de 2013.

SOUZA, D. J. **Desbravando o PIC**. 4ª edição. 2001. São Paulo: Érica editora, 2001.

THOMAZINI, D. ; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 6ª edição. São Paulo: Editora Érica, 2008.

## APÊNDICE A – Investimento total

INVESTIMENTO		
ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR
1	Painel 400x400x120	R\$ 130,00
2	Arduino Mega	R\$ 110,00
3	Célula de Carga GL10	R\$ 80,00
4	Amplificador SMOWO	R\$ 116,25
5	Válvula Catalisador DANFOSS	R\$ 150,00
6	Controlador de Temperatura OMRON	R\$ 85,00
7	Relé de Estado Sólido OMRON	R\$ 35,00
8	Teclado Matricial	R\$ 20,00
9	Display 20x4	R\$ 55,00
10	Placa de Relés	R\$ 20,00
11	Bornes CABUR	R\$ 16,00
12	Termopar Tipo J 2mm	R\$ 21,00
13	Fonte 220VCA 24VCC	R\$ 90,00
14	Fonte 220VCA 12VCC	R\$ 20,00
15	Componentes Eletrônicos Gerais	R\$ 80,00
16	Tanque Pré-Polímero Material	R\$ 650,00
17	Tanque Pré-Polímero Mão de Obra	R\$ 450,00
18	Tanque Catalisador Material	R\$ 130,00
19	Tanque Catalisador Mão de Obra	R\$ 100,00
20	Estrutura Material	R\$ 150,00
21	Estrutura Mão de Obra	R\$ 50,00
22	Estrutura Pintura	R\$ 70,00
23	Válvula Pré-Polímero Material	R\$ 100,00
24	Válvula Pré-Polímero Mão de Obra	R\$ 230,00
25	Válvula Pré-Polímero Acabamento	R\$ 25,00
26	Resistência Coleira Principal	R\$ 750,00
27	Resistência Arco Inferior Tanque	R\$ 100,00
28	Resistência Válvula Pré-Polímero	R\$ 82,00
29	Cabos	R\$ 30,00
30	Bomba Vácuo	R\$ 1.000,00
31	Montagem Mecânica	R\$ 500,00
32	Montagem Elétrica + Software	R\$ 1.000,00
33	Trilho Mini Dim CABUR	R\$ 10,00
34	Calha 30x50 Hellermann	R\$ 10,00
35	Parafusos	R\$ 23,00
36	Mangueiras	R\$ 15,00
37	Vacuômetro	R\$ 60,00
38	Válvula Reguladora de Fluxo	R\$ 94,00
39	Conexões Pneumáticas	R\$ 30,00
40	Cilindro Pneumático	R\$ 350,00
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 7.037,25</b>

## APÊNDICE B – Programação Arduino

```

#include <LiquidCrystal.h>
#include <Keypad.h>
int qtd_prod;
int valor=0;
int ciclo=0;
int lim_valor;
int linha;
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char keys[ROWS][COLS] = {
    {'1','2','3','A'},
    {'4','5','6','B'},
    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {39,41,43,45};
byte colPins[COLS] = {47,49,51,53};
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );
LiquidCrystal lcd(44,42, 46,48, 50, 52);
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(6, INPUT);
    pinMode(7, INPUT);
    pinMode(8, OUTPUT);
    pinMode(9, OUTPUT);
    pinMode(10, OUTPUT);
    pinMode(11, OUTPUT);
    lcd.begin(16, 4);
    digitalWrite(8,HIGH);
    digitalWrite(9,HIGH);
    digitalWrite(10,HIGH);
    digitalWrite(11,HIGH);
    int ETAPA=0;
}
void loop()
{
    int TARA=0;    // para tarar a balan;a
    int PESO=0;   // memoria do peso
    int TEMP=0;   // memoria da temperatura
    int stemp1 = analogRead(A1);//sensor de temperatura
    int peso_pre_polimero;
    int peso_catalisador;
    int desaerador=0;

```

```

int valvula_pre_polimero=11;
int valvula_catalisador=9;
int agitador=0;
int tempo_aquec_pre_polimero=0;
int tempo_agitador=0;
int desaerado=0;
int media=0;
int peso_final;
int ETAPA=0;
int pesomedio=0;
int speed=0;
unsigned long int P;
Serial.println(ETAPA);
if (ETAPA==0)
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("POLIURETANO");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("'A' PARA PARAMETROS");
  delay(1000);
  Serial.print("POLIURETANO PRESSIONE A PARA PARAMETROS");
  Serial.println(ETAPA);
  char key = keypad.getKey();
  if (key=='A'){
    Serial.println(key);
    Serial.println(ETAPA);
    ETAPA=1;
  }
  while(ETAPA>0){

if (ETAPA==1){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("DIGITE QTD PROD");// DIGITE A QUANTIDADE DE PRODUTO
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("PESO = ");// DIGITE A QUANTIDADE DE PRODUTO
  delay(1000);
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("se ok press D ");// DIGITE A QUANTIDADE DE PRODUTO
  delay(1000);
  Serial.println(ETAPA);
  ciclo=0;
  lim_valor=10000;
  linha=0;

```

```

quantidade();
qtd_prod=valor;          //variavel que armazena valor
desejado de produto
ETAPA=2;
}
if (ETAPA==2)
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("B para Iniciar");// DIGITE A QUANTIDADE DE PRODUTO
  delay(100);
  Serial.println(ETAPA);
  char key = keypad.getKey();
  if (key=='B')
  {
    lcd.clear();
    ETAPA=3;
    Serial.println(ETAPA);
  }
}
if((ETAPA<60)&&(ETAPA>2)){
if (ETAPA==3)
{
  ////////////////////////////////////////////////////////////////////
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("A zera balanca");
  delay(100);
  char key = keypad.getKey();
  if (key=='A')
  {
    ////////////////////////////////////////////////////////////////////pressione A para zerar a balança
    delay(50);
    TARA=(pesomedio);
    Serial.println(('A'));
    Serial.println((TARA));
    ETAPA=20;
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("balanca zerada!");
    delay(2000);
  }
}
  ////////////////////////////////////////////////////////////////////
  ////////////////////////////////////////////////////////////////////logica de transformação em milivolts para gramas
for(media=0;media<100;media++)
{//////////////////////////////////////////////////////////////////media de medidas
  PESO = ((analogRead(A3)));

```

```

delay(1);
P=(P+PESO);
}
pesomedio=((P/50)*5));
peso_final=(pesomedio-TARA);
P=0;
delay(500);
Serial.print(("peso final="));
Serial.println((peso_final));
Serial.print("ETAPA=");
Serial.println(ETAPA);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("DESEJADO=  g");
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(qtd_prod);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Atual=  g");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(peso_final);
peso_pre_polimero=(qtd_prod*0.8);////////////////////VALOR INFERIOR A 90%
POIS 10% É DO CATALISADOR E UM POUCO DO TEMPO DE FECHAMENTO DA VALVULA.
if((peso_final<peso_pre_polimero)&&(ETAPA==20))
{
digitalWrite(valvula_pre_polimero,LOW);
Serial.println("abre valvula pre polimero");
Serial.print("peso pre polimero=");
Serial.println(peso_pre_polimero);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("ABRE V PRE POL");
ETAPA=21;
}
if((peso_final>peso_pre_polimero)&&(ETAPA==21))
{
digitalWrite(valvula_pre_polimero,HIGH);
delay(5000);
Serial.println("peso pre polimero ok fecha valvula");
peso_catalisador=(peso_final*1.1);
Serial.print("peso catalisador=");
Serial.println(peso_catalisador);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("FECHA V PRE POL");
ETAPA=30;
}
if(ETAPA==30)
{

```

```

    ETAPA=40;
}
if((peso_final<peso_catalisador)&&(ETAPA==40))
{
    digitalWrite(valvula_catalisador,LOW);
    ETAPA=41;
    delay(1000);
    Serial.println("abre valvula catalisador");
    Serial.println(peso_final);
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("ABRE V CATALIS");
}
if((peso_final>peso_catalisador)&&(ETAPA==41))
{
    digitalWrite(valvula_catalisador,HIGH);
    delay(1000);
    Serial.println("peso catalisador ok fecha valvula");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("FECHA V CATALIS");
    Serial.print("etapa=");
    Serial.print(ETAPA);
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("OK pronto para");
    delay(2000);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("misturar!");
    delay(2000);
    ETAPA=100;
}
}
if(ETAPA==100)
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Posicione copo");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Pressione D!");
    delay(2000);
    Serial.print("etapa=");
    Serial.print(ETAPA);

    char key = keypad.getKey();
    if (key=='D'){
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print("Misturando!");
    }
}

```



```

    lcd.setCursor(6, (linha+1));
    lcd.print("      "); // DIGITE A QUANTIDADE DE PRODUTO
    valor=0;
  }
  for(int digito=3;digito>0;digito--)
  {
    char key1 = keypad.getKey();
    if(key1=='D')
    {
      lcd.setCursor(0, linha);
      lcd.print("QTD OK      "); // DIGITE A QUANTIDADE DE PRODUTO
      delay(100);
      lcd.setCursor(6, (linha+1));
      lcd.print(valor);
      ciclo=1;
      delay(1500);
      break;
    }
    if (key1){
      valor=(valor*10);
      valor=(valor+(int((key1)-48)));
      Serial.println(valor);
      lcd.setCursor(6, (linha+1));
      lcd.print(valor); // DIGITE A QUANTIDADE DE PRODUTO
    }
  }
  if(key1=='A')
  {
    valor=0;
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print("      ");
    delay(100);
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(valor);
    delay(1500);
    char key1 = keypad.getKey();
  }
}
}
}
}

```