

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

CLAUDEIR COELHO DE SOUZA  
JOÃO VITHOR DRIESSEN  
ROMÁRIO DE SOUZA COELHO

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DIDÁTICO DE LINHA DE PRODUÇÃO DE  
BOLOS

JOINVILLE

Abril/2017

CLAUDEIR COELHO DE SOUZA  
JOÃO VITHOR DRIESSEN  
ROMARIO DE SOUZA COELHO

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DIDÁTICO DE LINHA DE PRODUÇÃO DE  
BOLOS

Monografia apresentada ao  
Instituto Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do  
diploma de Tecnólogo em  
Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof. Me. Jorge  
Roberto Guedes

JOINVILLE

Abril/2017

P 324f de Souza, Claudeir Coelho. Driessen, João Vithor. Coelho, Romário de Souza.

Desenvolvimento de protótipo didático de linha de produção de bolos / de Souza, Claudeir Coelho. Driessen, João Vithor. Coelho, Romário de Souza – Joinville: Instituto Federal de Santa Catarina, 2017.

86p.

Monografia (graduação) – Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Joinville, 2017.

Orientador: Jorge Roberto Guedes, Me.

1. Recursos Didáticos. 2. Automação Industrial. 3. LabVIEW. 4. Arduino.  
I. Jorge Roberto Guedes, Me. II. DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DIDÁTICO DE LINHA DE PRODUÇÃO DE BOLOS.

CDD 001.4

Catalogado por:

CLAUDEIR COELHO DE SOUZA  
JOÃO VITHOR DRIESSEN  
ROMÁRIO DE SOUZA COELHO

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DIDÁTICO DE LINHA DE PRODUÇÃO DE  
BOLOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em  
Mecatrônica Industrial, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de  
Santa Catarina, e aprovado pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Joinville, 24 de abril de 2017.

---

Prof. Jorge Roberto Guedes, Me.  
Orientador  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Prof. Michael Klug, Dr.  
Avaliador  
Instituto Federal de Santa Catarina

---

Prof. Mauricio Henning, Me.  
Avaliador  
Centro Universitário – Católica de Santa Catarina

---

Prof. Manfred Heil Junior, Me.  
Avaliador  
Centro Universitário – Católica de Santa Catarina



## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos em princípio a Deus, por toda sabedoria que nos foi dada, aos nossos amigos e familiares por todo incentivo e paciência e aos nossos professores que compartilharam ao longo desta caminhada o conhecimento necessário para o desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos em especial nossas mulheres, Aline, Amanda e Sheila que com muita paciência e comprometimento souberam respeitar nossas ausências em decorrência deste trabalho. Salientamos que este trabalho apenas foi possível graças ao apoio financeiro e operacional disponibilizado pelo Instituto Federal de Santa Catarina e por todos que o fazem. Para todos que nos apoiaram e incentivaram, nossos mais sinceros agradecimentos.







## RESUMO

Este trabalho desenvolveu um protótipo para utilização como recurso didático, baseado nos sistemas de automação industrial e inspirado na indústria alimentícia. O objetivo do mesmo é tornar o processo de ensino-aprendizagem mais dinâmico e intuitivo e, através do uso deste recurso, aproximar o aluno da realidade encontrada nas indústrias. O protótipo elaborado fez uso de sensores, atuadores, sistema de processamento e *software* de interface. Foram utilizados neste trabalho, sensores de vazão, corrente elétrica e posicionamento e como atuadores utilizou-se resistência elétrica e motores de corrente contínua. Para o sistema de processamento utilizou-se a plataforma Arduino, responsável pelo controle dos atuadores do protótipo e processamento de dados provenientes dos sensores e do *software* de interface. O *software* de interface foi desenvolvido com o auxílio do *software* de programação LabVIEW, sendo o ambiente de configuração de receitas e responsável pelo envio dos parâmetros selecionados pelo usuário, ao sistema de processamento.

Palavras-Chave: Recursos didáticos. Automação Industrial. LabVIEW. Arduino. Sensores e Atuadores.

## **ABSTRACT**

This study has developed a prototype to use as a teaching resource, based on the industrial automation system and inspired in the food industry. Its objective is to make the teaching-learning process more dynamic and more intuitive by using this resource, so that students would have a better view of a real life in factories. The created prototype makes use of sensors, actuators, a procedure system, and interface software. Leaking, energy, and positioning sensors were used and the actuators, which were used, are electric resistance and current sewing drives. The Arduino platform was used for the procedure system, responsible for the control of the prototype actuators and to process the data got from the sensors and from the interface software. The interface software was developed with the help of the programming software LabVIEW, having the recipe configuration place and the selected patterns being chosen by the user, on the procedure system.

Keywords: Teaching materials. Industrial Automation. LabVIEW. Arduino. Sensors and Actuators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arduino MEGA2560 .....	25
Figura 2 – Chave fim-de-curso .....	26
Figura 3 – Sensor infravermelho .....	27
Figura 4 – Sensor ultrassônico .....	27
Figura 5 – Sensor LM35 .....	28
Figura 6 – Sensor de efeito hall.....	29
Figura 7 – Sensor de vazão .....	29
Fonte: <a href="http://www.msseletronica.com/detalhes/modulo-sensor-medidor-de-fluxo-vazao-de-agua-eletronico-para-1-2-yf-s201-codigo-exemplo-arduino/988.html">http://www.msseletronica.com/detalhes/modulo-sensor-medidor-de-fluxo-vazao-de-agua-eletronico-para-1-2-yf-s201-codigo-exemplo-arduino/988.html</a> .....	29
Figura 9 – Motores CC com caixa de redução .....	30
Figura 10 – Bomba centrífuga .....	31
Figura 11 – Servo motor.....	31
Figura 12 – Resistências elétricas.....	32
Figura 13 – Modelo de planta automatizada .....	34
Figura 14 – Diagrama de blocos da estrutura geral do PDLPB.....	35
Figura 15 – Diagrama de blocos da função global .....	35
Figura 16 – Projeto da montagem do sistema de seleção de ingredientes sólidos ...	37
Figura 17 – Rosca Transportadora.....	37
Figura 18 – Projeto de Fuso Helicoidal .....	38
Figura 19 – Protótipo de Fuso Helicoidal .....	38
Figura 20 – Tubo Guia .....	39
Figura 21 – Usinagem do Tubo Guia .....	39
Figura 22 – Projeto da Tampa de Retenção.....	40
Figura 23 – Projeto do sistema de dosagem de ingredientes sólidos .....	40
Figura 24 – Projeto do recipiente de armazenamento de ingredientes sólidos .....	41
Figura 25 – Fabricação do Recipiente de Armazenamento. ....	41
Figura 26 – Recipiente de armazenamento de ingredientes sólidos. ....	42
Figura 27 – Procedimento de Solda no recipiente de Armazenamento .....	42
Figura 28 – Projeto da montagem do sistema de seleção de ingredientes sólidos ...	43
Figura 29 – União dos sistemas de armazenamento e dosagem de ingredientes sólidos com utilização de cola epóxi .....	43
Figura 30 – Sistema de seleção de ingredientes sólidos com a pintura finalizada ...	44
Figura 31 – Sistema de armazenamento de ingredientes líquidos.....	44

Figura 32 – Sensor de vazão e bomba de sucção .....	45
Figura 33 – Sistema de seleção de ingredientes líquidos .....	46
Figura 34 – Recipiente misturador de massa .....	47
Figura 35 – Dispositivo batedor de massa .....	47
Figura 36 – Flange Adaptador em Alumínio .....	48
Figura 37 – Sistema Misturador .....	48
Figura 38 – Projeto da válvula dosadora com o servo motor .....	49
Figura 39 – Princípio de Funcionamento da Válvula Dosadora.....	49
Figura 40 – Sistema de Movimentação e extração da massa .....	50
Figura 41 – Subsistema Extrator .....	51
Figura 42 – Circuito de acionamento do motor do extrator .....	52
Figura 43 – Conformação das chapas do forno .....	52
Figura 44 – Fixação das placas de lã de rocha .....	53
Figura 45 – Projeto da montagem geral .....	54
Figura 46 – Perfil “L” durante processo de secção .....	55
Figura 47 – Peça furada e pintada .....	55
Figura 48 – Telas do sistema de interface .....	56
Figura 49 – Software de programação LabVIEW .....	57
Figura 50 – Microcomputador com tela sensível ao toque .....	57
Figura 51 – Tela de Configurações de Receita .....	58
Figura 52 – Tela de Diagramas .....	59
Figura 53 – Tela de Erros.....	60
Figura 54 – Tela de Configurações, sub tela configurações gerais sem acesso administrativo .....	61
Figura 55 – Tela de Configurações, sub tela configurações gerais com acesso administrativo .....	62
Figura 56 – Tela de Históricos.....	63
Figura 57 – Tela de Configurações, Sub tela Correios.....	64
Figura 58 – Sequência de Transmissão de dados .....	65
Figura 59 – Bornes para conexão dos cabos elétricos.....	66
Figura 60 – Diagrama elétrico do sistema de acionamento com inversão de polaridade .....	66
Figura 61 – Diagrama elétrico do sistema de acionamento dos sistemas de seleção de ingredientes.....	67
Figura 62 – Diagrama elétrico do sistema de acionamento da resistência elétrica ...	67
Figura 63 – Diagrama elétrico do sistema de integração .....	68

Figura 64 – Fluxograma de Funcionamento do PDLPB .....	70
Figura 65 – Comparação entre a peça oxidada (a) e a peça pintada (b) .....	72
Figura 66 - Furo com dimensões inadequadas .....	73
Figura 67 – Fresamento do tubo .....	73
Figura 68 – Montagem dos componentes do sistema de seleção de ingredientes sólidos .....	74
Figura 69 – Montagem do misturador e vibrador junto ao recipiente de armazenamento .....	75
Figura 70 – Componente constituído de basculante e balança.....	76
Figura 71 – Montagem dos coolers .....	76
Figura 72 – Ponto crítico de desgaste do cabo de aço .....	79
Figura 73 – Funcionamento da válvula dosadora.....	80
Figura 74 – Resistências aquecidas.....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

PDLPB – Protótipo Didático de Linha de Produção de Bolos

UPC – Unidade de Processamento Central

PWM – Pulse Width Modulation

CAD – Computer Aided Design

CLP – Controlador Lógico Programável

LED – Light Emitting Diode

USB – Universal Serial Bus

LVDT – Linear Variable Differential Transformer

CI – Circuito Integrado

CC – Corrente Contínua

CA – Corrente Alternada

PVC – Poli Vinil Cloreto

TIG – Tungsten Inert Gas

COM – Comunicação

IHM – Interface homem maquina

RPM – Rotações Por Minuto

kgf/cm - Kilograma força por centímetro

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Omega$  – Ohm

V – Volt

W – Watt

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1 Justificativa</b> .....	<b>20</b>
1.1.1 Objetivo geral .....	20
1.1.2 Objetivos específicos .....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
2.1 Utilização de recursos didáticos .....	21
2.2 Histórico da Automação Industrial.....	22
2.3 Sistema supervisorio e linguagem de programação LabVIEW .....	23
2.4 Plataforma Arduino.....	24
2.5 Sensores.....	25
2.6 Atuadores .....	30
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>33</b>
3.1 Visão Macro.....	34
3.2 Seleção de ingredientes.....	36
3.2.1 Sistema de seleção de ingredientes sólidos .....	36
3.2.1.1 Dosagem de ingredientes sólidos .....	37
3.2.1.2 Armazenamento de ingredientes sólidos .....	40
3.2.2 Sistema de seleção de ingredientes líquidos .....	44
3.2.2.1 Subsistema de armazenamento de ingredientes líquidos.....	44
3.2.2.2 Subsistema de dosagem de ingredientes líquidos .....	45
3.2.2.3 Sensor de vazão .....	45
3.3 Sistema misturador e dosador de massa .....	46
3.3.1 Sistema misturador.....	46
3.3.2 Sistema de dosagem de massa .....	48
3.4 Sistema de movimentação e extração da massa .....	49
3.4.1 Subsistema de movimentação .....	50
3.4.2 Subsistema extrator .....	51
3.5 Sistema de Cocção da Massa.....	52
3.5.1 Medição de Temperatura .....	53
3.6 Projeto da montagem geral.....	54
3.7 <i>Software</i> de Interface e Usabilidade.....	56
3.7.1 Tela de Receitas .....	58
3.7.2 Tela de Configurações .....	58



3.7.3 Tela de Diagramas.....	58
3.7.4 Tela de Erro .....	59
3.7.5 Tela de Configurações Gerais.....	60
3.7.6 Tela de Configurações Gerais com Acesso Administrativo.....	61
3.7.7 Tela de Visualização de Histórico:.....	62
3.7.8 Tela de Correios .....	63
3.7.9 Transmissão da Receita .....	64
3.8 Sistema de integração.....	65
3.9 Funcionamento do PDLPB.....	69
<b>4 RESULTADOS E PROBLEMAS ENCONTRADOS .....</b>	<b>71</b>
4.1 Problemas solucionados .....	71
4.1.1 Material oxidável do componente do sistema dosador .....	71
4.1.2 Problemas no escoamento de ingredientes sólidos.....	72
4.1.3 Método de verificação de quantidade dosada de ingredientes sólidos .....	75
4.1.4 Aquecimento indesejado .....	76
4.1.5 Dilatação térmica dos componentes mecânicos.....	77
4.1.6 Ponte H com sistema transistorizado .....	77
4.1.7 Variação de medição de corrente elétrica.....	78
4.1.8 Desgaste excessivo no cabo de aço .....	78
4.2 Resultados conformes .....	79
4.2.1 Dosagem de ingredientes líquidos .....	79
4.2.2 Sistema Misturador .....	79
4.2.3 Dosagem da massa.....	80
4.2.4 Controle de dosagem da massa .....	80
4.2.5 Sistema de cocção .....	81
4.2.6 Sistema extrator .....	82
4.3 Problema não solucionado .....	82
4.3.1 Funcionamento inadequado do servo motor.....	82
<b>5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>83</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Lamb (2015, p.2) o conceito de automação é definido como “uso de comandos lógicos programáveis e de equipamentos mecanizados para substituir as atividades manuais que envolvem tomadas de decisão e comandos-resposta de seres humanos”.

A partir deste conceito deduz-se que a automação industrial, utiliza mecanismos, dispositivos eletrônicos, e tudo que, ao ser aplicado em conjunto, promove a substituição de procedimentos manuais dentro do segmento industrial.

A automação é utilizada em diversos setores industriais, como: farmacêutico, siderúrgico, têxtil, alimentício, entre outros.

Neste trabalho desenvolveu-se um protótipo de sistema automático, com a finalidade de ser utilizado como recurso educacional.

Recurso educacional é todo material que, dentro do seu contexto, pode ser utilizado com propósito didático ou para facilitar o desenvolvimento de atividades de treinamento. Um recurso educacional que pode ser utilizado em situação de ensino e aprendizagem, não necessariamente é um recurso didático. Para ser considerado um recurso didático, o mesmo deve ser desenvolvido para este fim. (GRAELLS, 2000)

O contato do aluno com o recurso didático deve ser valorizado, pois o mesmo gera interesse, participação e aprendizado. (OLIVEIRA, 2006)

Dentro do contexto apresentado, questiona-se qual a melhor forma de aumentar o interesse, participação e aprendizado dos educandos em relação às disciplinas da área de automação que necessitam de aplicação prática?

Nesta perspectiva, este trabalho visa desenvolver um protótipo didático de linha de produção de bolos (PDLPB). O intuito do mesmo é auxiliar no processo de ensino-aprendizagem do aluno e, desta maneira, demonstrar ao mesmo um modelo de aplicação prática que possibilite a utilização dos conceitos teóricos abordados em sala de aula.

## **1.1 Justificativa**

O fator inspirador que motiva o desenvolvimento deste projeto é poder proporcionar um recurso didático que possa agregar os conceitos de automação e desta forma auxiliar os alunos que encontram dificuldades de relacionar os conteúdos teóricos vistos em sala de aula, às situações práticas frequentemente encontradas na indústria.

### **1.1.1 Objetivo geral**

Elaborar um protótipo didático de linha de produção de bolos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Confeccionar um material didático para apoio nas aulas de automação industrial.
- Aplicar os conceitos adquiridos ao longo do curso para automatizar uma linha de produção, utilizando os seguintes recursos: Plataforma Arduino; Linguagem de programação LabVIEW; Sensores e atuadores; Desenvolvimento de estrutura mecânica e elétrica.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo serão apresentadas as pesquisas referentes ao trabalho “Desenvolvimento de Protótipo Didático de Linha de Produção de Bolos”, incluindo referências à utilização de recursos didáticos, automação industrial, sistemas supervisórios, linguagem de programação LabVIEW, plataforma Arduino, sensores e atuadores.

### **2.1 Utilização de recursos didáticos**

Para Souza (2007, p.111) recurso didático é, “todo material utilizado como auxílio no ensino-aprendizagem do conteúdo proposto para ser aplicado pelo professor a seus alunos”.

Conforme Santo, Castelano e Almeida (2001, p. 2) descreve, “o contexto educacional tem exigido grandes transformações na estrutura escolar visando novas posturas que privilegiem as mudanças voltadas para um novo cenário do mundo contemporâneo”. Logo, percebe-se que dentro do contexto escolar, deve-se procurar métodos e materiais que possam propiciar ao professor um auxílio no processo de ensino. Essa ideia é reforçada por Souza (2007, p.113), onde o mesmo diz que: “O uso de recursos didáticos deve servir de auxílio para que no futuro os alunos aprofundem, apliquem seus conhecimentos e produzam outros conhecimentos a partir desses”.

Assim ressalta-se a necessidade da introdução de novos recursos pedagógicos devido ao surgimento de novas tecnologias de informação e comunicação que influenciam na relação do tempo e espaço destinado à aprendizagem (SOUZA, 2003).

Se o professor não optar por métodos alternativos que possam complementar o processo de ensino, muitas ideias que seriam sugeridas podem ser desperdiçadas. Dentro deste aspecto Castoldi e Polinarski (2009, p.685) ressaltam que, “com a utilização de recursos didático-pedagógicos, pensa-se em preencher as lacunas que o ensino tradicional geralmente deixa, e com isso,

além de expor o conteúdo de uma forma diferenciada, fazer dos alunos participantes do processo de aprendizagem”.

Também é importante que o professor esteja disposto a utilizar o recurso didático, que prestigie o uso e não somente isso, mas também que permita aos alunos, utilizá-lo como meio de comunicação entre os mesmos. Nesta linha de pensamento, Oliveira (2006, p.4) destaca “a valorização do contato do aluno com o material didático para gerar interesse, participação, aprendizagem e a interação dos alunos que, assim, poderiam discutir suas ideias e expô-las ao grupo”.

## **2.2 Histórico da Automação Industrial**

Albuquerque e Silva, (2003, p.2) relatam que um procedimento automatizado é “aquele em que a operação manual executada pelo ser humano foi substituída por uma máquina que executa quase todas as operações em um determinado procedimento produtivo”. Seguindo essa linha de pensamento, Goeking (2010, p.71) ressalta que “podemos dizer que a utilização em larga escala do moinho hidráulico para fornecimento de farinha no século X, foi uma das primeiras criações humanas com o objetivo de automatizar o trabalho, ainda que de forma arcaica”.

Contudo, pode-se relatar que:

Para que haja automação industrial é, antes de tudo, preciso que haja indústria, e ainda processos automáticos autocontroláveis. Portanto, pode-se marcar como início da Automação Industrial o século XVIII, com a criação inglesa da máquina a vapor, aumentando a produção de artigos manufaturados, e estas foram às décadas da Revolução Industrial (SILVEIRA E LIMA, 2003, p.1).

Logo, percebe-se que o surgimento da automação industrial ocorreu após o início da Revolução Industrial.

Contudo, Goeking (2010, p.71) diz que “o conceito de automação foi instituído nos Estados Unidos apenas em 1946, nas fábricas automotivas”.

A combinação de tecnologias mecânicas e elétricas, como a incorporação

de sistemas microprocessados aos robôs mecânicos, somente foi possível após o desenvolvimento dos primeiros computadores industriais. O surgimento destes computadores se deu devido a criação do transistor em 1947, impulsionando assim o desenvolvimento da automação (GOEKING, 2010).

Com a chegada dos dispositivos microprocessados na década de 60, foi possível o desenvolvimento dos controladores lógicos programáveis (CLPs). A linguagem de programação desenvolvida para estes dispositivos utilizou-se da lógica empregada nos diagramas elétricos a relés (ALBUQUERQUE E SILVA, 2003).

Atualmente, os sistemas de automação industrial se utilizam na maioria das vezes do CLP, aliado com os mais diferentes tipos de sensores e atuadores eletroeletrônicos ou mecânicos. Outra tecnologia bastante utilizada é o sistema supervisor, que permite monitorar de maneira remota o funcionamento do sistema de automação como um todo, através de redes de comunicação e integração com o CLP.

### **2.3 Sistema supervisor e linguagem de programação LabVIEW**

Conforme Jurizato e Pereira (2003, p.106), “o software, conhecido como supervisor, permite a operação e visualização através de telas gráficas elaboradas para qualquer processo industrial ou comercial, independentemente do tamanho de sua planta”.*[sic]*

A organização e visualização das características do processo a partir do tratamento dos dados adquiridos pelo CLP será de responsabilidade do software supervisor (ALBUQUERQUE E SILVA, 2003).

Dentro das possibilidades de sistema supervisor a ser utilizado, escolheu-se trabalhar com o software LabVIEW®, desenvolvido pela *National Instruments*, pela praticidade de programação e a possibilidade do desenvolvimento de diferentes aplicações.

Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais ou, simplesmente, IVs (Ou VI no Inglês). São compostos pelo painel frontal, que contém a interface, e pelo diagrama de blocos, que contém

o código gráfico do programa. O programa não é processado por um interpretador, mas sim compilado. Deste modo a sua performance é comparável à exibida pelas linguagens de programação de alto nível. A linguagem gráfica do LabVIEW é chamada “G” (SOUZA, 2006, p.2).

Ao utilizar o LabVIEW® pode-se desenvolver diferentes interfaces que agregam controladores como, botões e caixas de texto e indicadores visuais, tais como os gráficos, LED's e indicadores analógicos (TERÇARIOL ET AL, 2012).

O LabVIEW® é baseado na linguagem de programação gráfica G, que utiliza um modelo de fluxo de dados em vez de uma sequência de linhas de texto, o que permite escrever códigos funcionais usando um layout visual, mais intuitivo (NATIONAL INSTRUMENTS, 2016).

## **2.4 Plataforma Arduino**

Para a aquisição e processamento dos dados referentes ao PDLPB, foi escolhida a plataforma Arduino devido as seguintes características: linguagem de programação, custo, referências e usabilidade.

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica open-source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos (ARDUINO, 2015).

Conforme Perez et al (2013, p.230), a utilização da plataforma Arduino é destinada a várias aplicações. “Por se tratar de uma plataforma livre e de baixo custo é muito utilizada no ensino, seja de crianças, adolescentes, jovens ou adultos”.

Utilizou-se a plataforma de integração Arduino MEGA 2560 como unidade de processamento central do PDLPB. Este modelo foi escolhido devido ao fato de possuir um número de entradas e saídas digitais suficientes para suprir a necessidade do projeto.

O Arduino MEGA 2560 é uma plataforma controlada pelo microcontrolador ATmega2560. Possui 54 pinos digitais de entrada/saída (dos quais, 15 podem gerar um sinal PWM) e 16 entradas analógicas (EMBARCADOS, 2014).



A Figura 1 ilustra o modelo de Arduino utilizado:

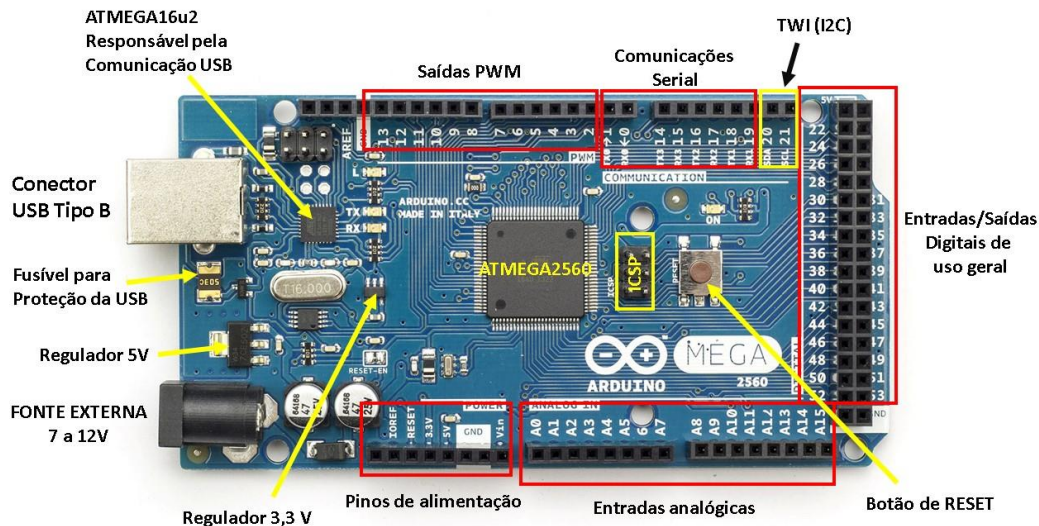


Figura 1 – Arduino MEGA2560

Fonte: <https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>

## 2.5 Sensores

Para que o material desenvolvido pudesse ser utilizado como recurso didático nas disciplinas de automação industrial, se fez necessário utilizar sensores e atuadores que demonstrassem o funcionamento semelhante ao de uma linha de produção industrial. Ressaltando a importância da utilização dos sensores Mazzaroppi, (2007, p.1) descreve que “no campo da automação industrial os sensores tornaram-se parte fundamental dos processos, devido a utilização de equipamentos integrados e controlados por computadores”.

Segundo Rosário, (2005, p.55), “os principais tipos de sensores utilizados industrialmente são:

- de proximidade: mecânicos, ópticos, indutivos, capacitivos;
- de posição e velocidade: potenciômetros, LVDT, encoders absolutos e relativos e tacogeradores;
- de força e pressão;
- analógico de temperatura (termopar);

- de vibração e aceleração”.

Dos sensores citados acima, utilizou-se no desenvolvimento da PDLPB, os sensores de proximidade e de temperatura, além do sensor de corrente e de vazão, não citados pelo autor acima.

Do ponto de vista da seleção do tipo de sensor a ser utilizado Seidel (2011, p.23) diz que “a seleção de sensores é uma das tarefas mais importantes, pois a partir dessa escolha, determinam-se o custo e o êxito da implementação de um processo em automação industrial”.

Os critérios a serem levados em consideração para a especificação de sensores são: variáveis de medida (analógico ou digital), características (linearidade e faixa de atuação) e classes de proteção (ROSÁRIO, 2005).

Um tipo de sensor de proximidade utilizado no desenvolvimento do PDLPB, foi a chave fim-de-curso, que segundo Mazzaroppi (2007, p.5) “são sensores ativos de presença que necessitam de um contato físico para que ocorra o seu acionamento”.

Quanto a utilização da chave fim-de-curso, afirma-se que:

A finalidade principal da chave fim-de-curso é detectar quando um dispositivo atinge seu deslocamento máximo, como por exemplo, evitar que o motor de um sistema continue funcionando mesmo depois que o dispositivo já tenha chegado ao seu ponto máximo, evitando uma sobrecarga no motor e no circuito (WENDLING, 2010).

O modelo de chave fim-de-curso utilizado pode ser visualizado na Figura 2.



Figura 2 – Chave fim-de-curso

Fonte: <http://hunion.mercadoshops.com.br/interruptor-micro-switch-chave-fim-de-curso-alavanca-haste-43646178xJM>

Outro tipo de sensor de proximidade que aplicou-se ao PDLPB foi o sensor óptico infravermelho.

A transmissão e recepção de luz na região infravermelha, está relacionada com o princípio de funcionamento deste tipo sensor, que através da reflexão ou interrupção desta transmissão, detecta a presença do acionador (SEIDEL, 2011).

Este tipo de sensor, demonstrado na Figura 3, é comumente utilizado para detectar o posicionamento de algum elemento de determinado sistema.



Figura 3 – Sensor infravermelho

Fonte: <http://www.filipeflop.com/pd-6b910-sensor-infravermelho.html>

Para controle de grandezas que necessitam de medições analógicas, como medições de distância, pode-se utilizar de sensores ultrassônicos, como o modelo HY-SRF05, apresentado na Figura 4.



Figura 4 – Sensor ultrassônico

Fonte: <https://www.tindie.com/products/upgradeindustries/hc-sr05--hy-srf05-precision-ultrasonic-sensor/>





Figura 6 – Sensor de efeito hall

Fonte: <https://www.eletronicacastro.com.br/home/13068-sensor-de-efeito-hall-arduino-pic-a3144.html>

O funcionamento do sensor de vazão é baseado, na rotação de uma hélice com um ímã acoplado em seu eixo, conforme a Figura 7, que ao passar na região de atuação do sensor de efeito *hall*, faz com que o mesmo envie pulsos à unidade de processamento central.



Figura 7 – Sensor de vazão

Fonte: <http://www.msseletronica.com/detalhes/modulo-sensor-medidor-de-fluxo-vazao-de-agua-eletronico-para-1-2-yf-s201-codigo-exemplo-arduino/988.html>

Outro sensor que pode utilizar o sensor de efeito hall internamente para medição de sua grandeza, é o sensor de corrente elétrica. Neste caso, o mesmo mede o efeito do campo magnético gerado pela passagem da corrente no componente e determina, de maneira indireta, o valor da mesma. O modelo utilizado, ACS712 pode ser visualizado na Figura 8.



Figura 8 – Sensor de Corrente Elétrica

<http://www.eletródex.com.br/sensor-de-corrente-acs712-30a-a-30a.html>

## 2.6 Atuadores

Com o intuito de realizar o acionamento de determinados movimentos inerentes ao funcionamento do PDLPB utilizou-se de motores CC.

O princípio de funcionamento deste tipo de motor é descrito a seguir:

O funcionamento do motor de corrente contínua baseia-se no princípio da reação de um condutor, colocado num campo magnético fixo, ao ser percorrido por uma corrente elétrica. A interação entre o campo magnético fixo e o campo magnético produzido pela corrente, que circula no condutor, provoca o aparecimento de uma força. Essa força expulsa o condutor para fora do campo magnético fixo e com isso produz o movimento (ELETROBRÁS, 2009).

Este tipo de motor tem a característica de, mesmo com dimensões moderadas, conseguirem alcançar altas velocidades. Na maioria das aplicações em questão, requeria-se motores que possuíssem baixa rotação. Neste caso optou-se pela utilização de motores CC com caixa de redução, como os modelos visualizados na Figura 9.



Figura 9 – Motores CC com caixa de redução

Fontes: <http://blog.filipeflop.com/motores-e-servos/controlador-motor-dc-arduino-motor-shield.html>

<http://buscando.extra.com.br/loja/Motor-De-Vidro-Eletrico>

Para realizar o bombeamento de líquidos foi empregada uma bomba centrífuga, visualizada na Figura 10, que possui o funcionamento descrito a seguir.

Em bombas centrífugas, a energia é transferida ao fluido pela rotação do eixo onde é montado o rotor, com um certo número de pás ou palhetas. A geometria do rotor e suas palhetas caracteriza o tipo da bomba centrífuga e influencia a forma como a energia é transferida ao fluido e sua direção na saída do rotor (GOUVEA, 2008).



Figura 10 – Bomba centrífuga

Fonte: <http://www.rdcparts.com/produtos/diversos/material-instalacao/bombas-esguicho>

Para controles que necessitam de posicionamento angular com precisão, uma das opções que podem ser utilizadas é o servo-motor de corrente contínua, demonstrado na Figura 11.



Figura 11 – Servo motor

Fonte: [http://www.ces-eshop.com/dir/index.php?route=product/product&product\\_id=860](http://www.ces-eshop.com/dir/index.php?route=product/product&product_id=860)

O servo-motor é constituído por um motor de corrente contínua, um dispositivo de realimentação e uma alavanca. A posição da alavanca é garantida por meio do dispositivo de realimentação que informa ao circuito de controle em tempo real sua atual posição (NEWTON C. BRAGA, 2010).

Com a finalidade de realizar o aquecimento de um sistema térmico, em muitos casos se faz o uso de componentes eletro resistivos. Um modelo é visualizado na Figura 12. A característica principal destes componentes é a resistência elétrica, que por definição é a capacidade que um material apresenta de restringir a passagem de corrente elétrica. Descreve-se a seguir o funcionamento dos componentes eletro resistivos.

Esses materiais, quando percorridos por uma corrente elétrica, se aquecem provocando um fenômeno denominado de efeito joule. Esse efeito deve-se aos milhões de choques dos elétrons contra os átomos do condutor. Em virtude desses choques, a energia cinética do sistema aumenta. O aumento dessa energia se manifesta através do aumento da temperatura do condutor, ou seja, aumento da temperatura da resistência (SANTOS, 2008).

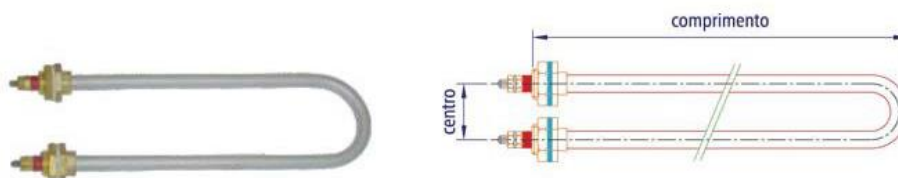


Figura 12 – Resistências elétricas

<http://www.eltra.com.br/v3/images/aquecimento%20de%20agua/ad.jpg>



### 3 DESENVOLVIMENTO

Para Graells (2000), os recursos didáticos apresentam algumas funções, como: orientar a aprendizagem, exercitar habilidades, motivar, avaliar e fornecer informações, simulações e ambientes de expressão e criação. Nesta perspectiva, pode-se entender então que a utilização do material didático será de grande importância para aperfeiçoar o aprendizado das matérias técnicas das ciências exatas. Tendo o conhecimento das matérias abordadas dentro do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, ofertado pela instituição de ensino Instituto Federal de Santa Catarina campus Joinville, propôs-se a criação de um material didático para uso em procedimentos de aprendizado prático, a fim de propiciar um aumento da compreensão pelo aluno sobre os assuntos abordados em sala de aula.

Colocou-se em questão qual material didático seria desenvolvido, sabendo-se que um dos objetivos deste curso é formar um profissional capaz de:

- Projetar, analisar, implementar e supervisionar sistemas na área de mecatrônica industrial;
- Dimensionar e avaliar a capacidade de sistemas automatizados industriais;

Para tais objetivos chegou-se à conclusão que o material didático que melhor atende a formação deste profissional deve estar diretamente relacionado ao conceito de automação industrial.

O processo abordado para o desenvolvimento do material didático foi o “Processo Industrial de Fabricação de Bolo”. Para a criação do material estudou-se a utilização de métodos de automação em indústrias de alimento.

Com o intuito de facilitar o desenvolvimento e construção dos modelos mecânicos e elétricos, dividiu-se o trabalho nas seguintes etapas da produção de um bolo:

1. Seleção de ingredientes;
2. Mistura de ingrediente;
3. Transporte do Bolo;
4. Cocção do Bolo.

Todos os componentes descritos neste projeto foram desenvolvidos com o auxílio do *software* CAD *Solid Works*. Todos os arquivos referentes a estes componentes estão inseridos na mídia digital que acompanha este trabalho.

Um modelo ideal de planta automatizada para indústrias de alimento pode ser verificado na Figura 13. Utilizou-se alguns conceitos visíveis nesta figura no desenvolvimento do PDLPB.

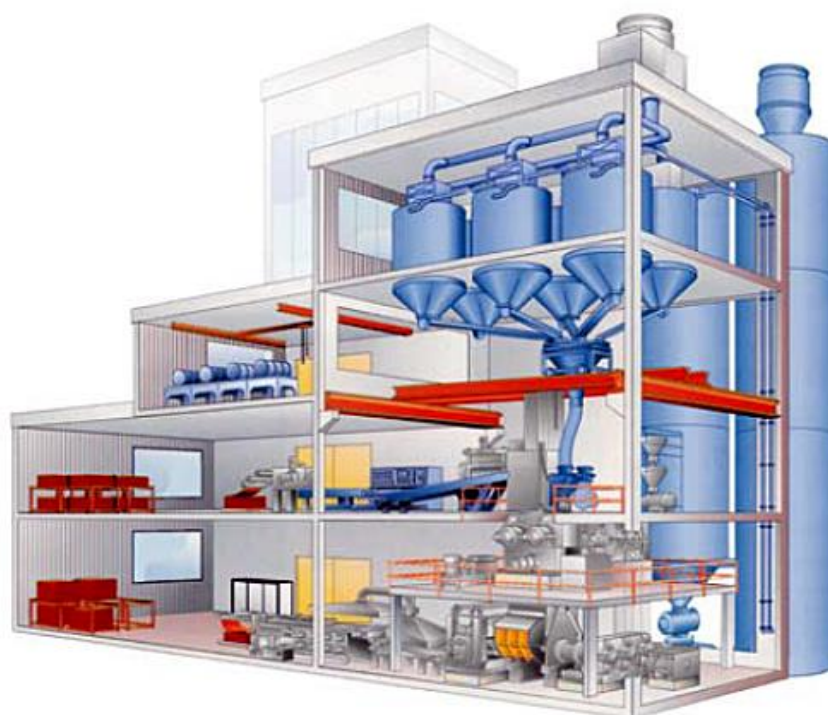


Figura 13 – Modelo de planta automatizada

[http://ctborracha.com/wp-content/uploads/2012/03/Fig-43-Mixing-room\\_zeppelin.jpg](http://ctborracha.com/wp-content/uploads/2012/03/Fig-43-Mixing-room_zeppelin.jpg)

### 3.1 Visão Macro

Como forma de apresentar de maneira objetiva o sistema que define a estrutura geral do PDLPB, elaborou-se o diagrama de blocos apresentado na Figura 14. O mesmo possui como elemento principal a função global do sistema que é a “Fabricação de Bolos”. O elemento seguinte da função global é uma função parcial definida como “IHM”, a partir desta função encontra-se a função parcial subsequente denominada “UPC”. A partir da função parcial “UPC”

derivam-se as funções elementares, “Seleção de ingredientes Armazenamento/Dosagem”, “Mistura e dosagem da massa”, “Cocção da massa” e “Movimentação e extração”.

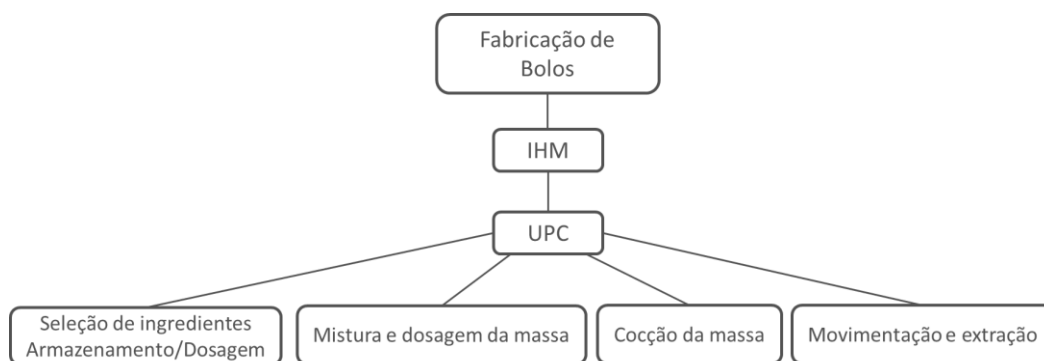


Figura 14 – Diagrama de blocos da estrutura geral do PDLPB

Para representar a relação entre as entradas e as saídas do sistema, pode-se observar na Figura 15 o diagrama de blocos da função global, contendo as seguintes entradas: “Energia elétrica”, “Ingredientes”, “Parâmetros da receita” e “Dados dos sensores” e as seguintes saídas: “Acionamento de atuadores”, “Bolo pronto” e “E-mail”.

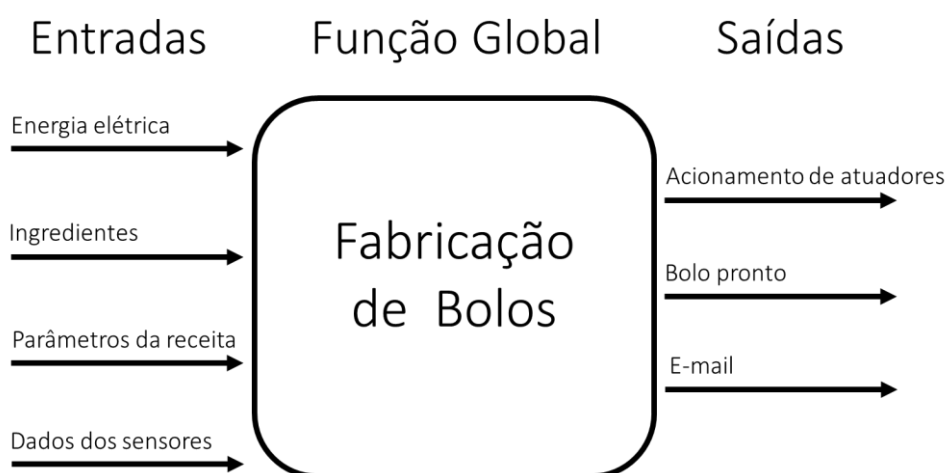


Figura 15 – Diagrama de blocos da função global

Abaixo descreve-se a atribuição das entradas e saídas da função global.

- Energia elétrica: Energia para o funcionamento dos componentes

eletroeletrônicos;

- Ingredientes: Relação de ingredientes utilizados na receita para fabricação do bolo;
- Parâmetros da receita: Informações inseridas pelo operador na IHM;
- Dados sensores: Dados provenientes das medições realizadas pelos sensores;
- Acionamentos de atuadores: Comandos realizados para o acionamento dos motores e resistência elétrica;
- Bolo pronto: Produto final obtido pelo PDLPB;
- E-mail: Notificações de funcionamento do PDLPB, enviadas via correio eletrônico.

Após descrever o funcionamento geral do PDLPB, será apresentado abaixo, as etapas do projeto e desenvolvimento dos sistemas, subsistemas e componentes elementares que constituem o sistema como um todo.

### **3.2 Seleção de ingredientes**

Com o intuito de destacar as particularidades de cada sistema, dividiu-se o processo de seleção de ingredientes em dois subsistemas, para sua análise: seleção de ingredientes sólidos e seleção de ingredientes líquidos, que são compostos, cada um, por dois componentes: dosagem de ingredientes e armazenamento de ingredientes. O primeiro é responsável por fornecer a quantidade de ingrediente solicitada pelo operador, o segundo por manter um estoque para quando o ingrediente for solicitado. A seguir será descrito como realizou-se o projeto e a fabricação dos mesmos.

#### **3.2.1 Sistema de seleção de ingredientes sólidos**

Concebeu-se o projeto do sistema de seleção de ingredientes sólidos com o intuito de que os componentes da montagem fossem fabricados de maneira individual. Portanto dividiu-se o sistema em dois componentes: dosagem de ingredientes sólidos e armazenamento de ingredientes sólidos. O projeto da

montagem pode ser visto na Figura 16.

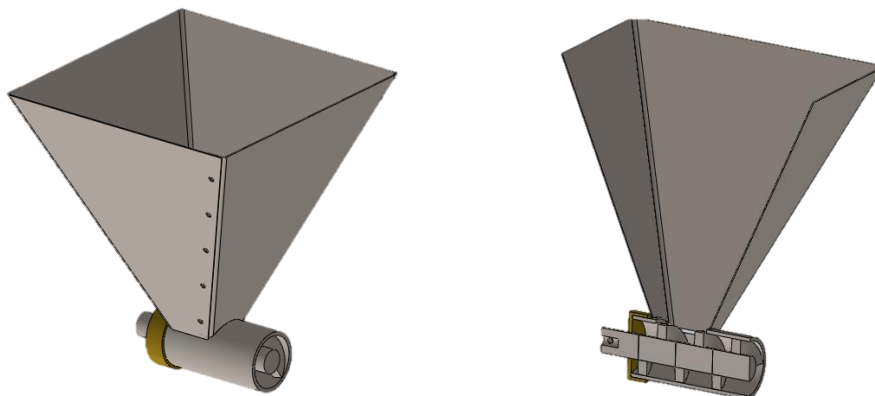


Figura 16 – Projeto da montagem do sistema de seleção de ingredientes sólidos

### 3.2.1.1 Dosagem de ingredientes sólidos

Afim de obter um modelo estrutural mecânico, estudou-se primeiramente o sistema de dosagem de ingredientes sólidos. Buscou-se utilizar um método para dosagem dos ingredientes baseado no modelo apresentado na Figura 17. Este modelo é constituído de um fuso helicoidal, um motor e um tubo. O transporte dos ingredientes sólidos ocorre quando o mesmo entra em contato com o fuso helicoidal e este realiza movimento rotacional deslocando o ingrediente no sentido desejado. O acionamento do fuso é realizado por um motor elétrico de corrente contínua.

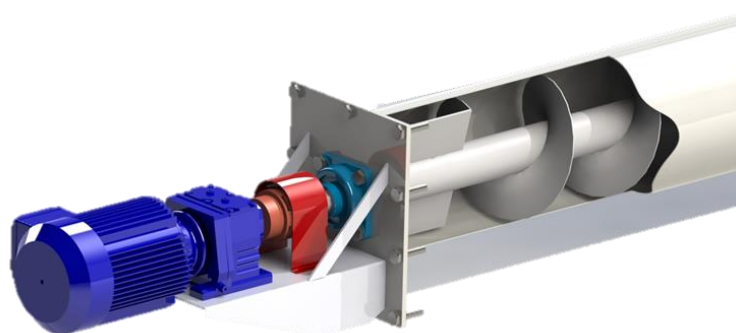


Figura 17 – Rosca Transportadora

[http://www.nutrimec.ind.br/img\\_produtos/rosca-transportadora-tubular1.jpg](http://www.nutrimec.ind.br/img_produtos/rosca-transportadora-tubular1.jpg)

A concepção do fuso similar desenvolvido pode ser vista na Figura 18. O projeto do mesmo desenvolveu-se com o auxílio de software CAD.

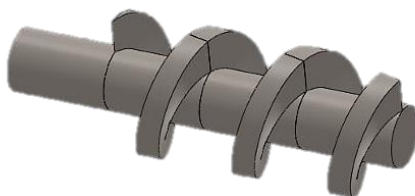


Figura 18 – Projeto de Fuso Helicoidal

O modelo do fuso utilizado concebeu-se a partir de um modelo existente, utilizado em máquinas de moer carne. Alterou-se as dimensões da peça para a sua adequação aos demais componentes do sistema de dosagem de ingredientes sólidos. Obteve-se então o resultado visto na Figura 19. As alterações na dimensão do fuso foram realizadas no torno convencional.



Figura 19 – Protótipo de Fuso Helicoidal

O fuso utilizado recebeu um banho de tinta, não tóxica, para evitar sua oxidação, tendo em vista que o material do qual o mesmo foi fabricado, o ferro fundido, oxida com o passar do tempo.

Outro componente do sistema de dosagem de ingredientes sólidos é o

tubo guia, onde o fuso é inserido, o projeto desta peça está demonstrado na Figura 20.

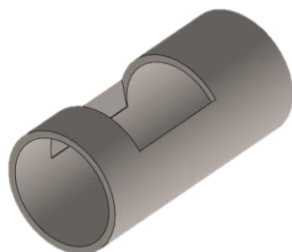


Figura 20 – Tubo Guia

Para a fabricação do tubo guia utilizou-se de um tubo de aço inoxidável. Seccionou-se o mesmo com o auxílio de máquina de corte do tipo serra fita, para obter uma medida aproximada da dimensão final projetada. Após esse processo faceou-se o tubo com a utilização de um torno e assim obteve-se o comprimento final desejado. Após a usinagem do recorte em uma fresadora convencional, chegou-se ao produto final com as formas projetadas conforme mostra a Figura 21. Ambas as ferramentas e máquinas operatrizes foram disponibilizadas pela instituição de ensino.



Figura 21 – Usinagem do Tubo Guia

Para evitar que o ingrediente sólido a ser dosado caísse pela extremidade oposta do tubo, projetou-se uma tampa de retenção em latão, como pode ser

observado na Figura 22. Executou-se a fabricação da mesma com a utilização do torno convencional.

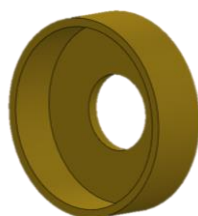


Figura 22 – Projeto da Tampa de Retenção

A montagem do sistema de dosagem de ingredientes sólidos pode ser visualizada na Figura 23. Nela pode-se observar o fuso helicoidal inserido no tubo guia e a tampa de retenção acoplada ao tubo.

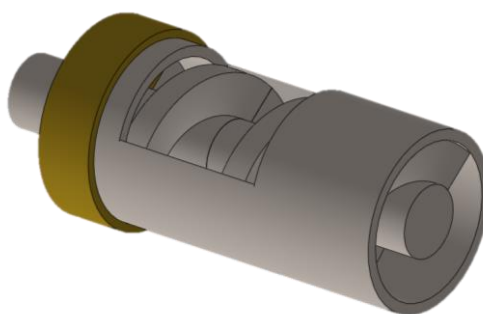


Figura 23 – Projeto do sistema de dosagem de ingredientes sólidos

### **3.2.1.2 Armazenamento de ingredientes sólidos**

Desenvolveu-se também o projeto para o outro componente pertencente ao sistema de seleção de ingredientes sólidos, o recipiente de armazenamento de ingredientes sólidos, que está representado na Figura 24. Projetou-se este componente, com o intuito de que no momento em que o usuário iniciar a produção, solicitando a inserção destes ingredientes, haja quantidade suficiente para ser fornecida.



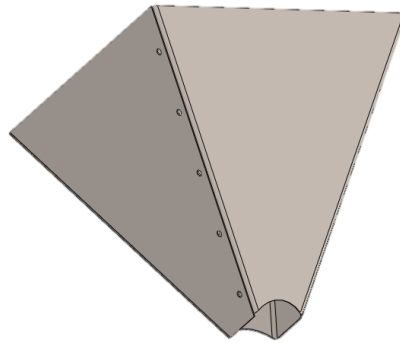


Figura 24 – Projeto do recipiente de armazenamento de ingredientes sólidos

Executou-se a fabricação do recipiente de armazenamento em chapa de aço inoxidável. Para fabricação do mesmo, imprimiu-se um modelo em folha tamanho A3 com a geometria planificada do objeto, onde utilizou-se este modelo para efetuar as marcações referentes à peça na chapa de aço inoxidável conforme Figura 25a. Após realizar as marcações efetuou-se o corte da peça na chapa conforme Figura 25b, fazendo o uso de uma guilhotina manual para chapas. Para realizar o recorte na parte inferior do recipiente utilizou-se um moto esmeril conforme Figura 25c. Executou-se então as dobras manualmente com a utilização de uma barra de aço ABNT 1045 fixada na aresta de dobra. Aplicou-se uma força na chapa de aço inoxidável, contrária a face da barra para obter a geometria desejada. Todos os equipamentos e máquinas utilizadas foram disponibilizados pela instituição.



Figura 25 – Fabricação do Recipiente de Armazenamento.

O processo de fabricação acima deu origem à peça demonstrada na Figura 26. Projetou-se este primeiro modelo para que as extremidades da chapa

fossem unidas através de procedimento de solda.



Figura 26 – Recipiente de armazenamento de ingredientes sólidos.

Realizou-se uma tentativa de soldagem no laboratório do Instituto Federal de Santa Catarina, campus Joinville, conforme a Figura 27.

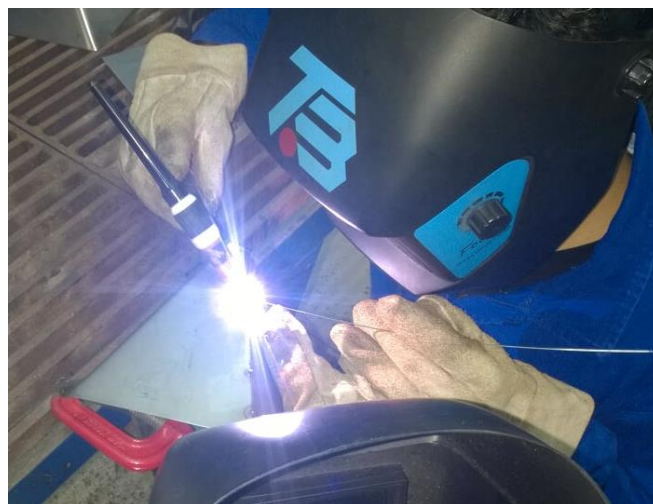


Figura 27 – Procedimento de Solda no recipiente de Armazenamento

A união por soldagem mostrou-se inviável devido às características da chapa e da máquina de solda utilizada. Como o procedimento realizado não demonstrou o resultado esperado, alterou-se o projeto do recipiente de armazenamento, prevendo então a utilização de rebites para junção das

extremidades, conforme pode ser visto na Figura 28.

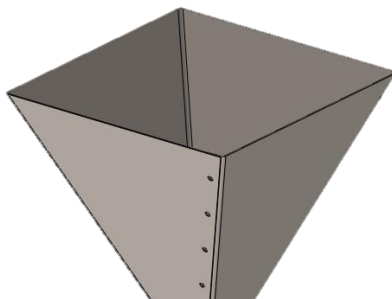


Figura 28 – Projeto da montagem do sistema de seleção de ingredientes sólidos

Como o processo de soldagem mostrou-se inviável como técnica de junção da chapa do recipiente de armazenamento, concluiu-se que a junção da mesma ao sistema dosador deveria ser realizada com outro procedimento, portanto utilizou-se cola epóxi para união dos mesmos, como é visto na Figura 29.



Figura 29 – União dos sistemas de armazenamento e dosagem de ingredientes sólidos com utilização de cola epóxi

Após a cura da cola epóxi, realizou-se o acabamento da área utilizando-se de uma lixa de baixa granulação e pintou-se a nova peça com tinta spray na cor preto brilhante. O resultado final pode ser visto na Figura 30.



Figura 30 – Sistema de seleção de ingredientes sólidos com a pintura finalizada

### **3.2.2 Sistema de seleção de ingredientes líquidos**

Para realizar a seleção dos ingredientes líquidos desenvolveu-se quatro sistemas idênticos, cada um destinado a um determinado ingrediente. São eles: ovo cru mexido, leite, azeite e água. Cada sistema dividiu-se em dois subsistemas: de armazenamento e de dosagem de ingredientes líquidos.

#### **3.2.2.1 Subsistema de armazenamento de ingredientes líquidos**

Para o sistema de armazenamento de ingredientes líquidos, utilizou-se um recipiente plástico, conectado a um flange adaptador como pode ser visto na Figura 31.



Figura 31 – Sistema de armazenamento de ingredientes líquidos

### 3.2.2.2 Subsistema de dosagem de ingredientes líquidos

Fazem parte do subsistema de dosagem de ingredientes líquidos a bomba de sucção, o sensor para medição de vazão e as mangueiras de transporte. Realizou-se o acoplamento da bomba de sucção ao sensor de vazão através de uma bucha conectora em material polimérico, desenvolvida no laboratório de fabricação da instituição de ensino com a utilização de torno convencional. A montagem dos componentes pode ser visualizada na Figura 32.

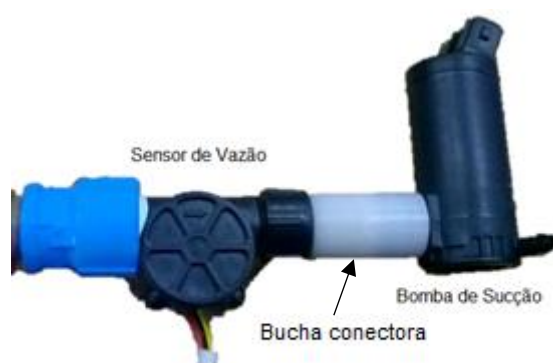


Figura 32 – Sensor de vazão e bomba de sucção

### 3.2.2.3 Sensor de vazão

Montou-se o sensor de vazão em série com a bomba de sucção. Quando ocorre a dosagem de determinado ingrediente líquido os pulsos gerados pelo sensor possibilitam mensurar a vazão de água seguindo a equação abaixo:

$$l = 450 \times p$$

Onde:

$l$  = volume de líquido em litros;

450 = constante;

$p$  = número de pulsos.

A união dos dois subsistemas foi realizada por meio de conexões

adaptadoras de PVC. O sistema de seleção de ingredientes líquidos composto pelos subsistemas descritos anteriormente pode ser visto na Figura 33.



Figura 33 – Sistema de seleção de ingredientes líquidos

### **3.3 Sistema misturador e dosador de massa**

De acordo com o processo de fabricação de bolo, após a seleção de ingredientes sólidos e líquidos, é necessário em um primeiro momento realizar a mistura e posteriormente a dosagem da massa na forma. Abaixo será descrito como executou-se a fabricação dos sistemas responsáveis por estes processos.

#### **3.3.1 Sistema misturador**

Para obter uma massa homogênea desenvolveu-se um dispositivo capaz de misturar todos os ingredientes inseridos no recipiente do sistema de mistura. O projeto concebido para o sistema misturador pode ser visto na Figura 34.



Figura 34 – Recipiente misturador de massa

Para conter a massa obtida através da mistura, utilizou-se um recipiente plástico, que acomoda também o dispositivo batedor. Fabricou-se o batedor com eletrodo consumível de aço inoxidável para solda TIG, o projeto deste componente pode ser visto na Figura 35.

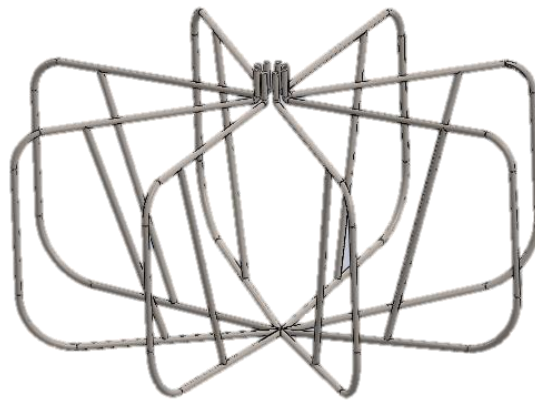


Figura 35 – Dispositivo batedor de massa

Como atuador utilizou-se um motor CC 12V com caixa redutora de velocidade. Para a fixação do batedor no eixo do atuador, confeccionou-se um flange adaptador em alumínio, o projeto deste flange pode ser visualizado na Figura 36. Para a fabricação desta peça utilizou-se o torno e fresadora convencionais presentes na instituição.



Figura 36 – Flange Adaptador em Alumínio.

A montagem do sistema misturador pode ser vista na Figura 37 e é composta pelos componentes: recipiente, batedor, flange adaptador e atuador.

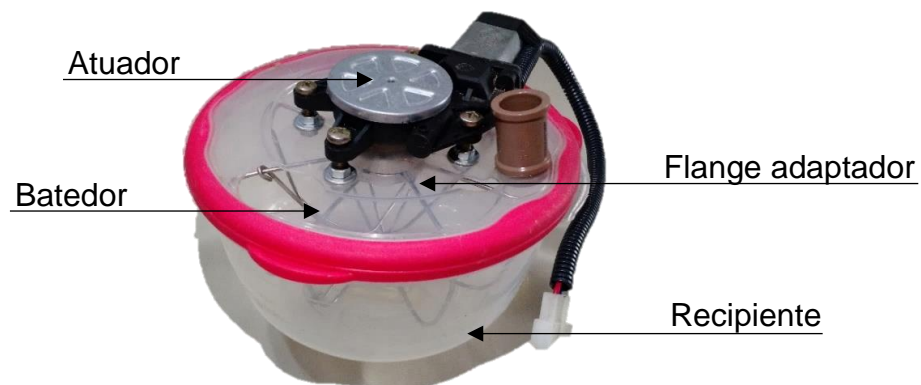


Figura 37 – Sistema Misturador

### 3.3.2 Sistema de dosagem de massa

Para obter o controle da dosagem da massa após o processo de mistura ter sido concluído, desenvolveu-se uma válvula com controle eletrônico de abertura e fechamento acionado por um servo motor. Elaborou-se o projeto afim de garantir que não existisse acúmulo de material entre a superfície da mesma e o recipiente. No fundo do recipiente efetuou-se um furo com a mesma dimensão do orifício de saída da válvula dosadora. O projeto da válvula dosadora pode ser visto na Figura 38.



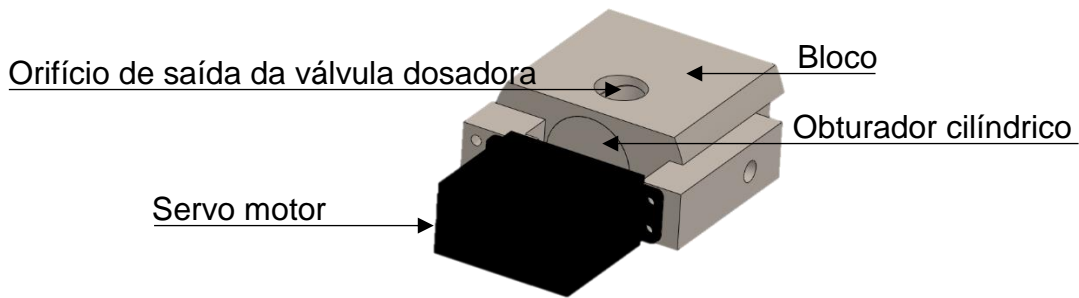


Figura 38 – Projeto da válvula dosadora com o servo motor

O princípio de funcionamento da válvula dosadora pode ser visto na Figura 39, a massa escoará pela válvula quando os furos do obturador cilíndrico e do bloco estiverem alinhados. O ângulo de inclinação do obturador é alterado com o acionamento do servo motor.

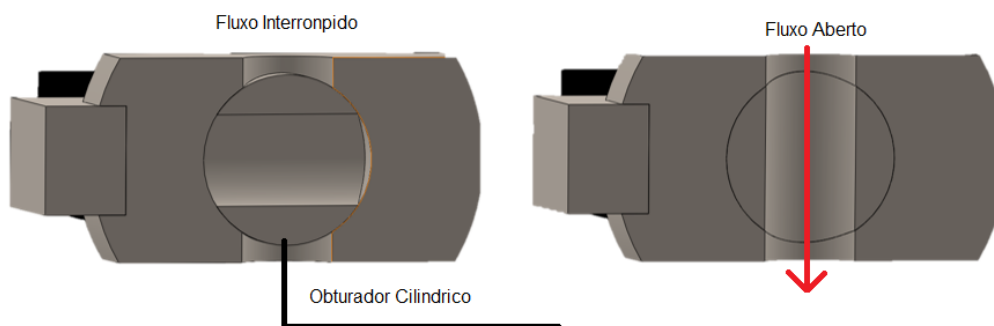


Figura 39 – Princípio de Funcionamento da Válvula Dosadora.

Com o intuito de preencher a forma com a quantidade de massa desejada com controle automático, utilizou-se um sensor ultrassônico. O controle do volume dosado é baseado no aumento do nível da massa depositada na forma. Quando a massa atinge o nível desejado a válvula interrompe o fluxo da mesma dando continuidade ao processo de fabricação do bolo.

### 3.4 Sistema de movimentação e extração da massa

O sistema é composto por dois subsistemas individuais: movimentação e extração. O subsistema de movimentação é composto por um carrinho fixado a

um cabo de aço, guiado por um trilho e atuado por motor CC 12V com caixa redutora de velocidade. O subsistema extrator é composto por uma chapa extratora, guias e um fuso atuado por motor CC 12V com redução de velocidade. O projeto da montagem do sistema pode ser visto na Figura 40. Concebeu-se o projeto com a função de transportar a forma sobre o carrinho e retirar a mesma para fora do sistema através do extrator.

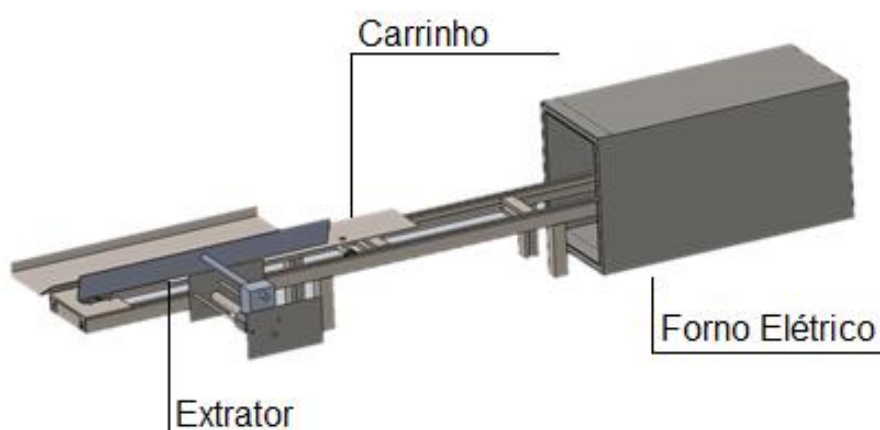


Figura 40 – Sistema de Movimentação e extração da massa

### 3.4.1 Subsistema de movimentação

O subsistema de movimentação tem a função de transportar a massa do sistema de dosagem até o sistema de cocção e o bolo pronto do sistema de cocção até o subsistema de extração.

Para identificar se o carrinho está alinhado com a válvula dosadora, utilizou-se um sensor de presença do tipo infravermelho. Quando o carrinho se posiciona na região de atuação do sensor, o mesmo interrompe a alimentação do seu atuador.

Após o preenchimento da forma com a massa, o carrinho conduz a mesma até o sistema de cocção.

Realizou-se o controle de final de curso do carrinho através de um sensor de corrente elétrica. O sensor identifica a variação desta grandeza no instante que o motor tem seu eixo bloqueado. Utilizou-se este método de sensoriamento

devido as altas temperaturas registradas no interior do forno impossibilitando a utilização das chaves finais de curso dentro do mesmo.

### 3.4.2 Subsistema extrator

Para retirar a forma com o bolo pronto da linha de produção, utilizou-se o subsistema extrator. Este subsistema foi obtido a partir de um sistema pronto utilizado para impressão em cartão-ponto manual e recebeu algumas adequações para a aplicação em questão. O sistema utiliza um motor que, através de engrenagens, transmite rotação à um fuso. O movimento do rotacional do fuso é transformado em movimento linear através de um componente adaptador. Na Figura 41 observa-se o subsistema.

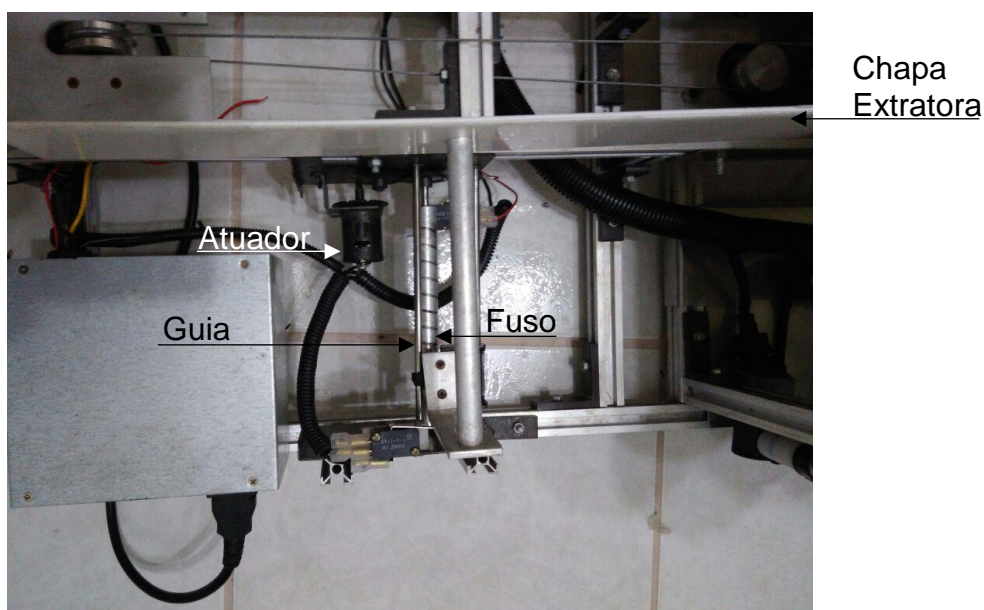


Figura 41 – Subsistema Extrator

Para o sensoriamento do extrator foram utilizadas duas chaves fins de curso mecânicas, cada uma posicionada em uma extremidade do sistema. O modelo de acionamento utilizado para o extrator impossibilita a alimentação do motor elétrico no sentido da chave fim de curso acionada. O esquema elétrico pode ser visto na Figura 42.

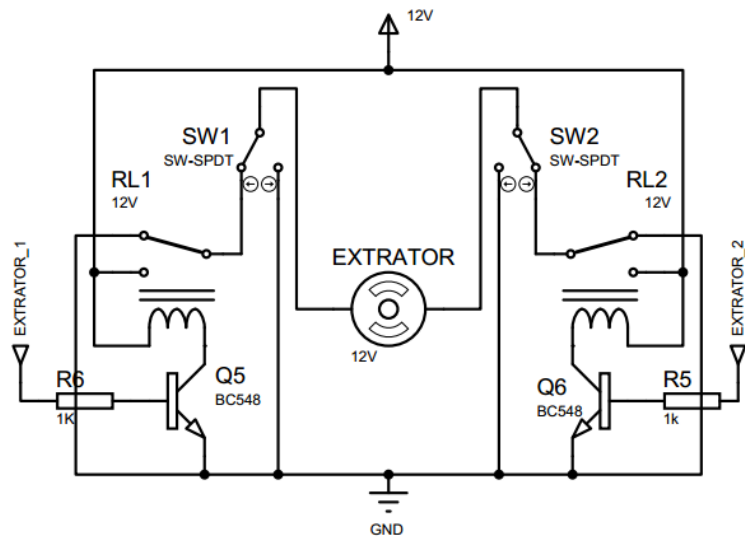


Figura 42 – Circuito de acionamento do motor do extrator

### 3.5 Sistema de Cocção da Massa

Para assar a massa desenvolveu-se um forno com a utilização de chapas de aço inoxidável, separadas por placas isolantes térmicas fabricadas a partir de lã de rocha.

Cortou-se as chapas de aço inoxidável nas dimensões projetadas com o auxílio da guilhotina presente no laboratório de fabricação da instituição de ensino. Para conformar as chapas no formato desejado realizou-se o dobramento das abas com a utilização da morsa de bancada. A Figura 43, mostra o processo de fabricação do forno.



Figura 43 – Conformação das chapas do forno

A Figura 44 mostra o processo de fixação do material isolante onde utilizou-se cola de junta de motores automotivos fabricada pela empresa Orbi Química. Utilizou-se este modelo de cola pelo fato de a mesma ser resistente à alta temperatura.



Figura 44 – Fixação das placas de lã de rocha

Para realizar o aquecimento do forno, utilizou-se duas resistências elétricas, adquiridas em tamanho disponível comercialmente, com dimensões adequadas para o projeto. As mesmas possuem potência elétrica de 600W, e tensão CA de 220V.

### 3.5.1 Medição de Temperatura

Com o intuito de realizar a medição da temperatura no interior do sistema de cocção, utilizou-se o sensor LM35, um circuito integrado que fornece uma curva linear de tensão em função da temperatura medida em graus Celsius.

A medição de temperatura do sistema de cocção é realizada com o intuito de garantir a temperatura solicitada pelo operador durante a definição dos parâmetros da receita.

### 3.6 Projeto da montagem geral

O projeto da montagem geral do PDLPB, com todos os sistemas descritos acima, foi elaborado visando a melhor utilização de espaço. O projeto foi concebido afim de garantir a integração de todos os sistemas desenvolvidos, permitindo assim, o funcionamento correto de todos os sistemas individuais.

A estrutura base utilizada para a sustentação de todos os sistemas foi construída a partir de perfis confeccionados em alumínio, conforme pode ser visto na Figura 45, onde também estão as dimensões gerais do PDLPB em milímetros, para se ter uma ideia do espaço físico que o mesmo ocupa.

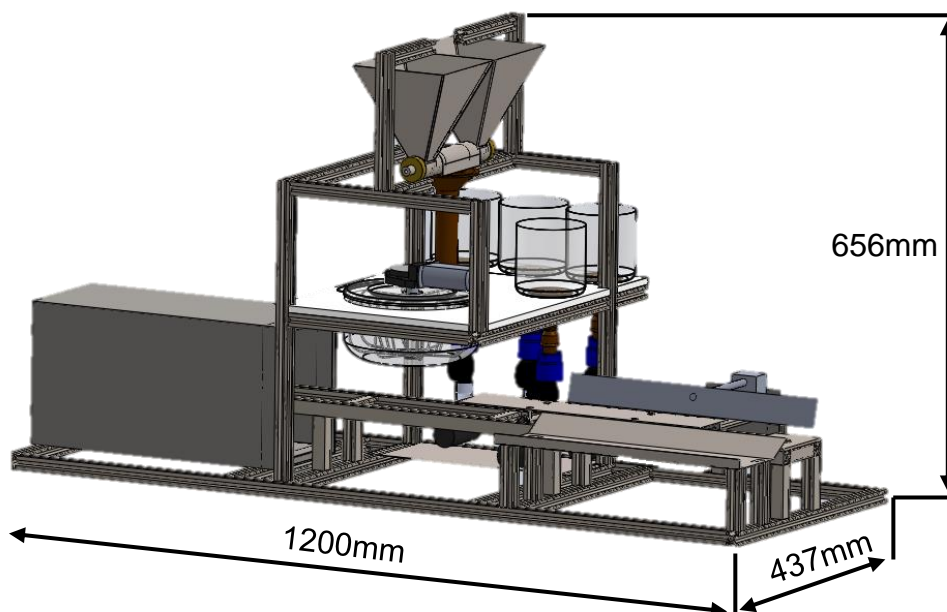


Figura 45 – Projeto da montagem geral

Para a fixação dos perfis, foi utilizada uma barra de aço ABNT 1020 em perfil “L”, seccionada conforme a Figura 46, para a fabricação de cantoneiras.



Figura 46 – Perfil “L” durante processo de secção

Após serem seccionadas, as peças foram furadas e receberam uma camada de tinta para diminuir os efeitos da oxidação. Conforme a Figura 47.



Figura 47 – Peça furada e pintada

### 3.7 Software de Interface e Usabilidade

Com o objetivo de simplificar o processo de utilização e configuração das funções do PDLPB, desenvolveu-se um aplicativo de interface, conforme demonstrado na Figura 48.

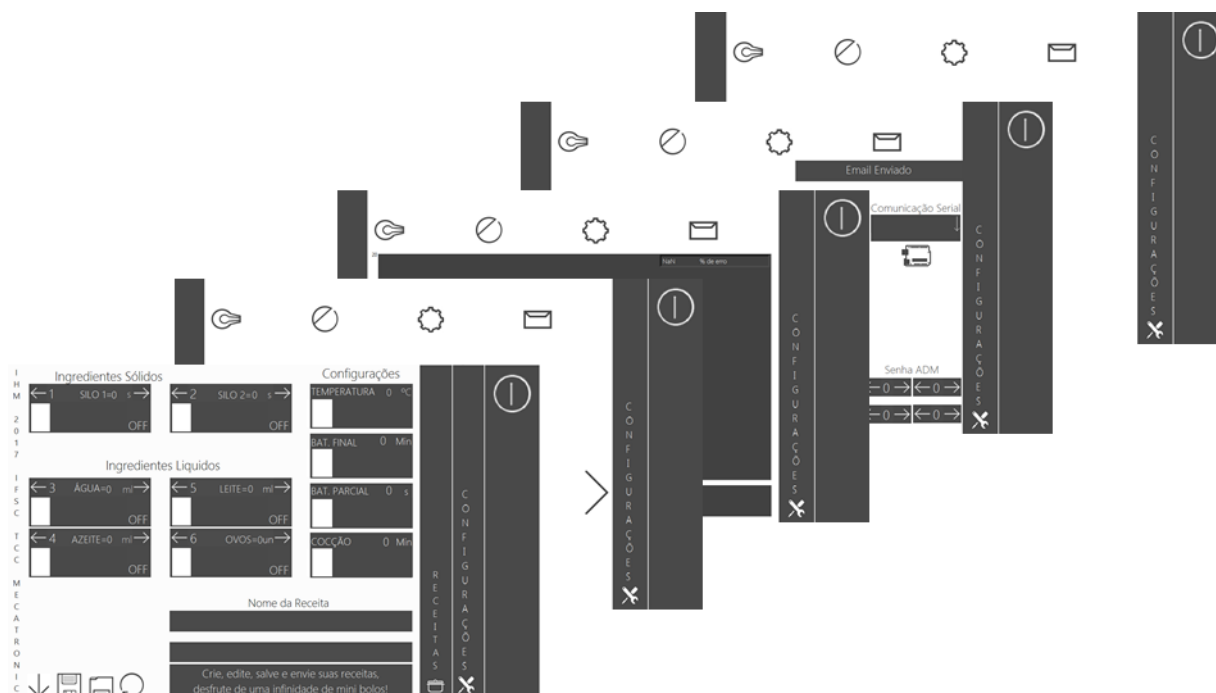


Figura 48 – Telas do sistema de interface

O software de interface foi desenvolvido através do software de programação *LabVIEW®* da *National Instruments*, seu ambiente de desenvolvimento gráfico pode ser visualizado na Figura 49. A área de desenvolvimento é composta pelo painel frontal, responsável pela interface do usuário, janela à esquerda na Figura 49 e pelo diagrama de blocos, janela à direita presente na mesma Figura, onde é realizada a programação.



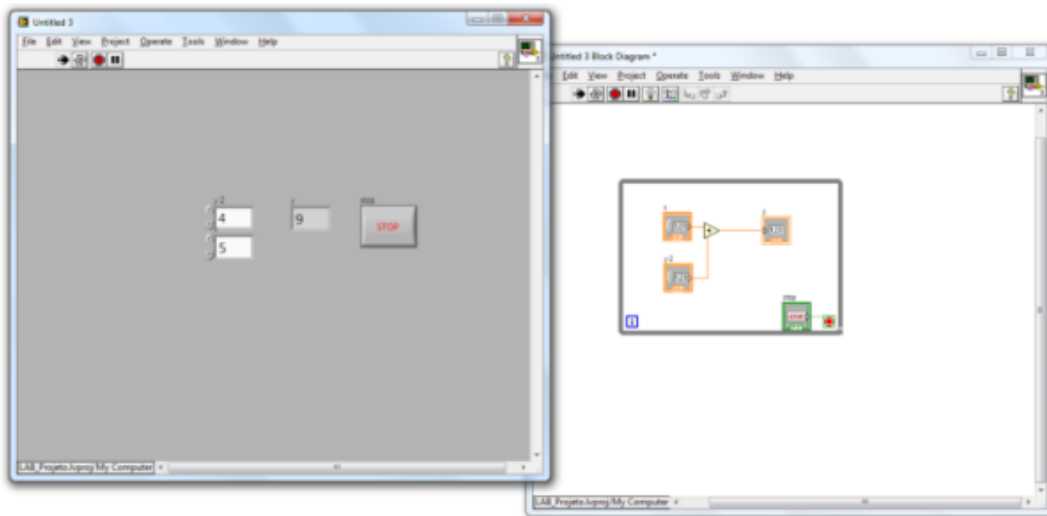


Figura 49 – Software de programação LabVIEW

O *software* de interface foi criado prevendo a utilização de um microcomputador com tela capacitiva sensível ao toque (Tablet), ou computadores que necessitam de periféricos como mouse e teclado para seu funcionamento adequado, como demonstrado na Figura 50.



Figura 50 – Microcomputador com tela sensível ao toque

Para desenvolver uma interface simples o *software* foi dividido em duas telas principais, “Configurações” e “Receitas”, cada uma possuindo suas funções específicas. A tela configurações foi dividida em mais quatro sub telas, “Diagramas”, “Erro”, “Configurações Gerais” e “Correio”.

### 3.7.1 Tela de Receitas

Na Figura 51 pode ser vista a tela destinada a edição das receitas, neste ambiente é possível alterar as configurações dos ingredientes, as configurações de produção, salvar receitas, carregar receitas salvas e enviar a receita para iniciar a produção.



Figura 51 – Tela de Configurações de Receita

### 3.7.2 Tela de Configurações

Esta tela do software é dividida em quatro sub telas e possui determinadas áreas de acesso restrito para pessoas com senha de administrador.

### 3.7.3 Tela de Diagramas

Com a possibilidade de fazer manutenção elétrica, alterações nos circuitos elétricos ou reprogramação sem desligar o Tablet, é possível visualizar todos os diagramas elétricos, imagens da máquina e de seu projeto dentro do próprio

sistema de interface conforme pode ser visto na Figura 52, afim de aprimorar e facilitar a utilização do sistema para o usuário.

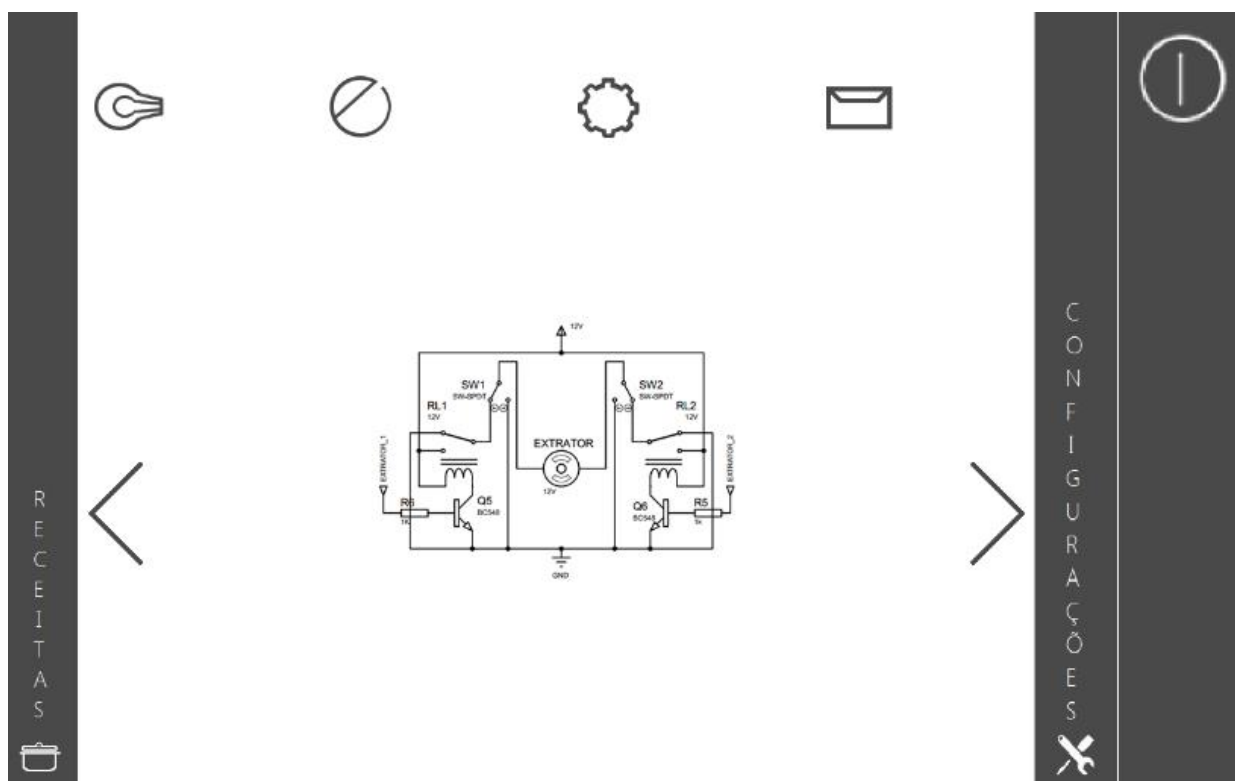


Figura 52 – Tela de Diagramas

### 3.7.4 Tela de Erro

É possível visualizar a taxa de erro na comunicação serial entre o sistema de interface e o PDLPB. Tal erro é registrado quando há diferença no valor enviado e o valor recebido pelo sistema, este gráfico é puramente informativo. Esta tela pode ser vista na Figura 53.

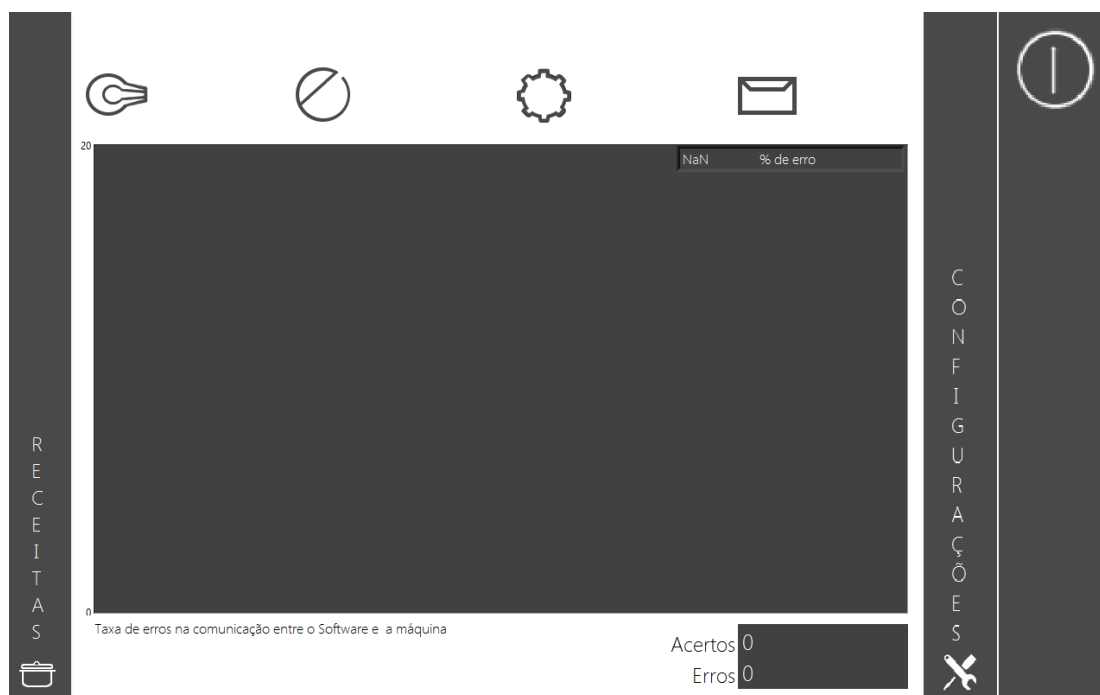


Figura 53 – Tela de Erros

### 3.7.5 Tela de Configurações Gerais

Nesta área do software é possível conectar manualmente o sistema de interface ao hardware presente no PDLPB, selecionando a porta *COM* em que o mesmo está conectado através do ícone que representa a plataforma Arduino. Esta tela pode ser visualizada na Figura 54.

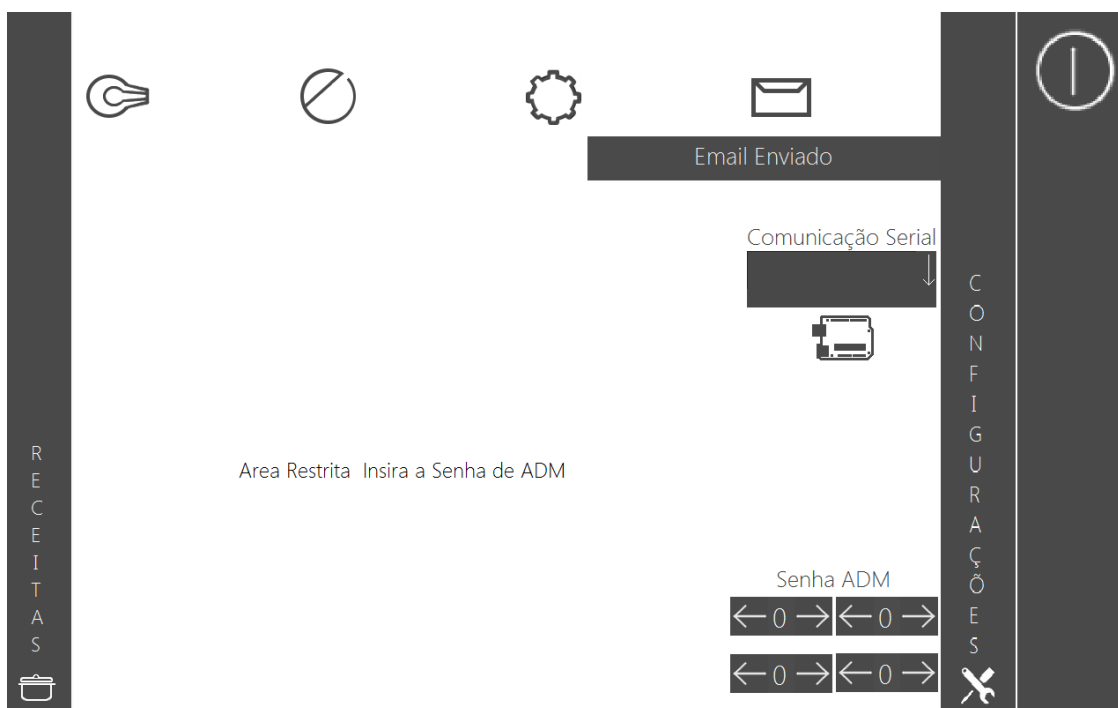


Figura 54 – Tela de Configurações, sub tela configurações gerais sem acesso administrativo

### 3.7.6 Tela de Configurações Gerais com Acesso Administrativo

Também é possível realizar o acesso administrativo conforme Figura 55, permitindo assim acessos a níveis mais completos do software, como:

Notificações de e-mail para:

- Acesso administrativo;
- Inicialização do sistema de interface;

Alterações de fundo de escala para:

- Temperatura mínima;
- Temperatura máxima;
- Tempo de batimento parcial mínimo;
- Tempo de batimento parcial máximo;
- Tempo de batimento final mínimo;
- Tempo de batimento final máximo;

Quando estes valores são alterados, o controle da receita é modificado a

fim de limitar os seus parâmetros para o usuário, assim é possível realizar configurações de segurança, tais como temperatura máxima fixa abaixo do limite máximo real.



Figura 55 – Tela de Configurações, sub tela configurações gerais com acesso administrativo

### 3.7.7 Tela de Visualização de Histórico:

No botão “Histórico”, visível na Figura 55 é possível visualizar todas as vezes que o software foi acionado conforme Figura 56, criando assim um banco de dados, com a data e horário, sendo possível excluir todos os dados armazenados.



Figura 56 – Tela de Históricos

### 3.7.8 Tela de Correios

A tela demonstrada na Figura 57 só fica visível quando o acesso administrativo está em andamento, nela é possível inserir apagar e visualizar endereços de e-mails, para cada tipo de notificação.



Figura 57 – Tela de Configurações, Sub tela Correios

### 3.7.9 Transmissão da Receita

Após a finalização das configurações do software e definições de parâmetros da receita, o usuário pode enviar a receita desejada ao sistema de integração. A transmissão dos dados da receita para o sistema de integração é realizada via comunicação serial, a sequência de dados da receita transmitida pode ser verificada na Figura 58. A transmissão é iniciada com o envio do caractere “E” ao sistema de integração, caso este receba este caractere, o mesmo encaminha o valor “10” ao sistema de interface, solicitando o envio da receita. O sistema de interface envia todos os valores referente as configurações da receita ao sistema de integração. Após o recebimento dos valores o sistema de integração soma todos os valores e envia o valor obtido (variável de certificação) ao sistema de interface, caso o valor recebido seja igual à soma dos valores registrados antes do envio pelo sistema de interface, este envia o caractere “S” ao sistema de integração, confirmando o início da receita, no caso da variável de certificação apresentar distinção entre os valores recebidos e enviados o sistema de interface encaminha o caractere “N” ao sistema de



integração.

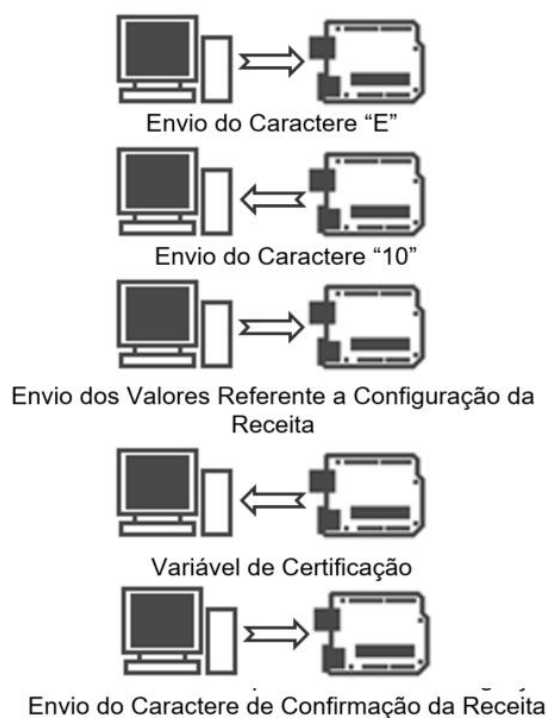


Figura 58 – Sequência de Transmissão de dados

### 3.8 Sistema de integração

Afim de realizar a conexão dos componentes elétricos e eletrônicos do PDLPB, sejam eles: sensores, atuadores, *drivers* ou a unidade de processamento central (UPC), desenvolveu-se um sistema de integração para os mesmos.

Este sistema de integração é controlado por uma UPC. No caso utilizou-se a plataforma de prototipagem Arduino MEGA 2560, que recebe os sinais enviados através de sensores e realiza o acionamento de atuadores para executar as tarefas desejadas que são informadas pelo usuário através do sistema de interface.

Os sinais que são emitidos pelos sensores possuem faixa de tensão compatível com a UPC, não necessitando de nenhuma conversão elétrica antes de serem enviados à mesma, portanto estes são conectados diretamente às portas da unidade, através de cabos elétricos com a extremidade fixada em

conectores tipo borne, conforme mostra a Figura 59.

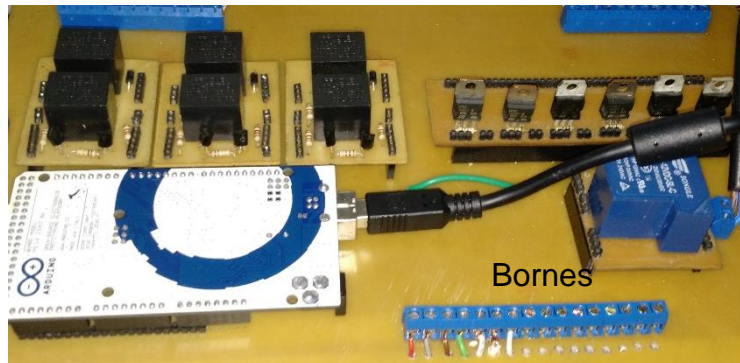


Figura 59 – Bornes para conexão dos cabos elétricos

Para realizar o acionamento dos atuadores, com exceção do servo motor que possui corrente de acionamento dentro da capacidade a ser fornecida pela porta da UPC, desenvolveu-se alguns modelos de *drivers*, que recebem o sinal de acionamento oriundo da UPC e enviam sinais de maior potência para os atuadores.

No caso de três motores em específico, utilizou-se sistemas de acionamento que invertem a polaridade do motor empregando contatos comutadores de relés, invertendo também o sentido de rotação do mesmo. Na Figura 60 observa-se o diagrama elétrico do sistema de acionamento.

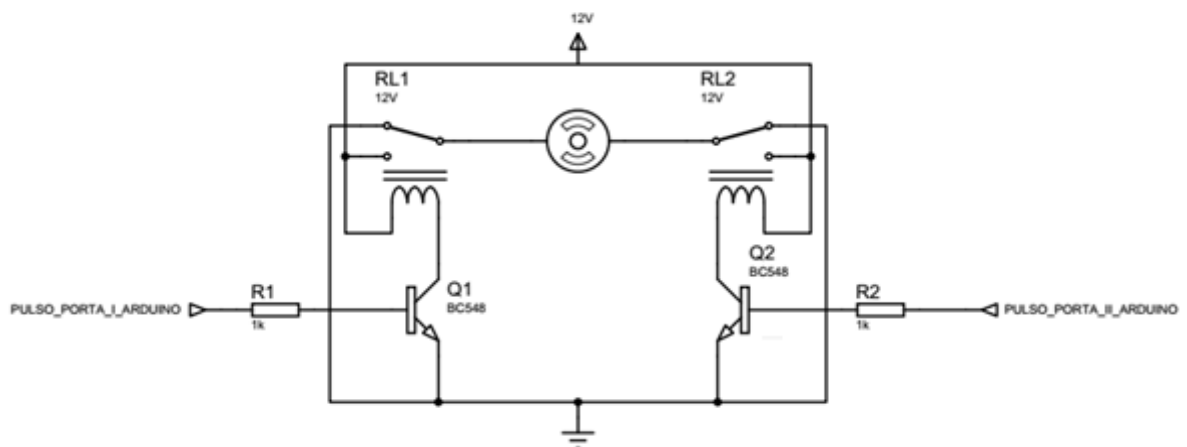


Figura 60 – Diagrama elétrico do sistema de acionamento com inversão de polaridade

O diagrama elétrico exibido na Figura 61, foi utilizado para realizar o acionamento dos atuadores dos sistemas de seleção de ingredientes.

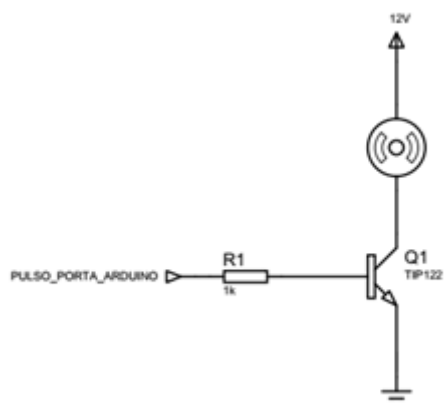


Figura 61 – Diagrama elétrico do sistema de acionamento dos sistemas de seleção de ingredientes

Para controlar o acionamento da resistência utilizada no sistema de cocção, foi implementado o circuito presente no diagrama elétrico demonstrado na Figura 62.

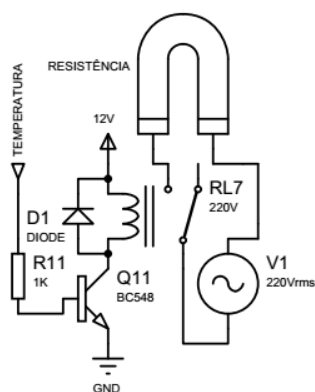


Figura 62 – Diagrama elétrico do sistema de acionamento da resistência elétrica

O diagrama elétrico de todo o sistema de integração pode ser visualizado na Figura 63.

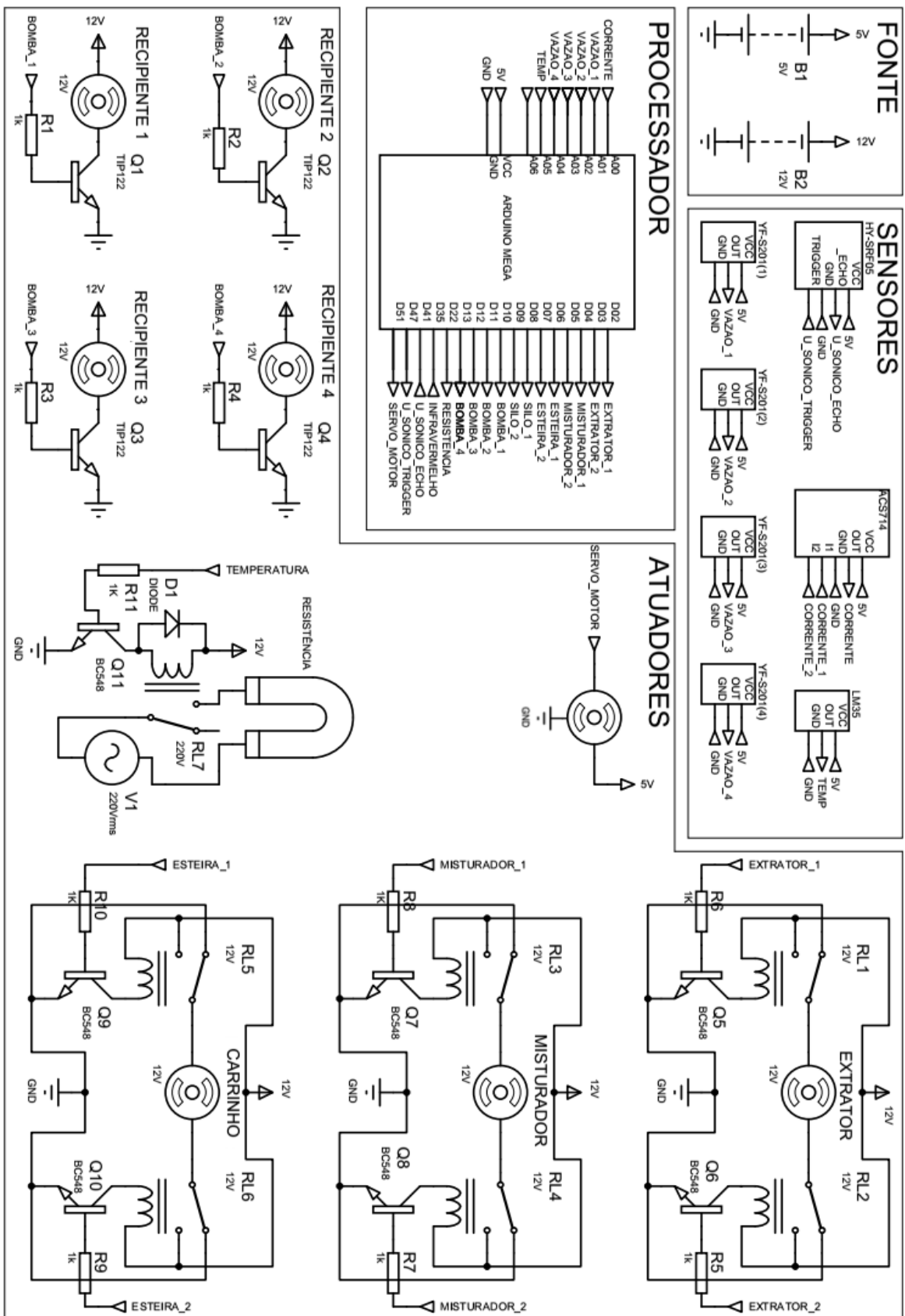


Figura 63 – Diagrama elétrico do sistema de integração

### 3.9 Funcionamento do PDLPB

Para inicialização do PDLPB, deve-se conectar a UPC ao Tablet através da conexão USB e a fonte de energia à rede elétrica monofásica (fase, neutro e terra). A não utilização de aterramento correto, implicará no risco de choque elétrico.

Após essa etapa, deve-se executar o aplicativo IHM.lbv, localizado na área de trabalho do Tablet. Após a execução do aplicativo o usuário deverá definir as variáveis de processo e confirmar o início da produção.

Com a confirmação do início da produção, o sistema de interface inicia o processo de comunicação enviando às informações inseridas pelo usuário à UPC. Após o recebimento das informações pela UPC, as mesmas são utilizadas no processo de fabricação.

Antes do início do processo de fabricação é necessário que o sistema de extração seja posicionado de maneira que não ocorra a colisão do mesmo com o sistema de movimentação, que por sua vez é direcionado para a extremidade oposta ao sistema de cocção. Esses procedimentos são executados de maneira automática a partir do momento em que a UPC processa as informações recebidas do software de interface.

A sequência do processo de fabricação ocorre conforme o fluxograma presente na Figura 64.

A cada alteração de processo descrito no fluxograma, é realizada uma verificação da temperatura no interior do sistema de cocção, afim de garantir a temperatura definida pelo usuário. Após a inserção de cada ingrediente, ocorre o batimento parcial da massa, caso seja solicitado pelo operador.

Com a realização destas sequências, conclui-se o processo de fabricação do bolo.

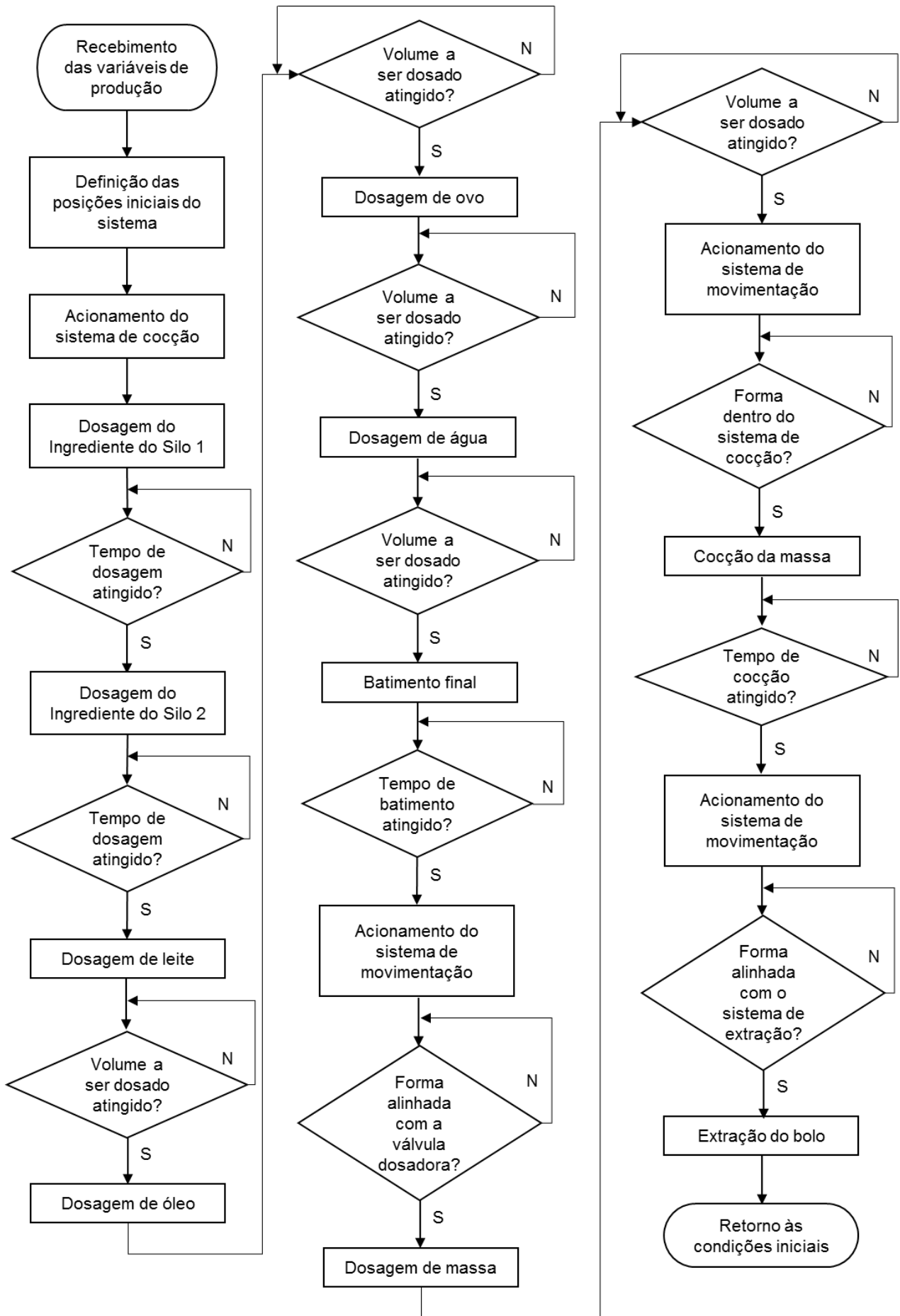


Figura 64 – Fluxograma de Funcionamento do PDLPB

## **4 RESULTADOS E PROBLEMAS ENCONTRADOS**

Todos os arquivos para concepção deste projeto, como layouts de placas, modelamentos dos componentes mecânicos, *firmwares* e *software* de interface estão presentes na mídia digital em anexo.

Após a finalização de algumas etapas do desenvolvimento do projeto do PDLPB foram obtidos resultados conformes bem como problemas não previstos. Abaixo serão descritos os mesmos serão descritos e também serão expostas suas respectivas soluções quando aplicáveis.

### **4.1 Problemas solucionados**

Neste item serão descritas as ocorrências não conformes onde foi encontrada alguma solução alternativa para o problema em questão.

#### **4.1.1 Material oxidável do componente do sistema dosador**

O componente essencial para o funcionamento do sistema dosador tem seu conceito baseado nos fusos helicoidais. Inicialmente, cogitou-se a fabricação do mesmo em material inoxidável, utilizando barra redonda e arruelas em material inoxidável, porém devido à falta de maquinário adequado para o processo de conformação das arruelas afim de transformá-las na rosca helicoidal do fuso, optou-se pela utilização de fuso pronto disponível comercialmente. Devido à necessidade do projeto, fez-se necessário o torneamento do fuso para a adequação ao sistema dosador. Esta adequação acarretou na remoção da camada superficial de proteção do material do qual o fuso é fabricado, ocasionando a exposição deste material à corrosão provocada pelo meio-ambiente. Para minimizar os efeitos da corrosão, o fuso recebeu um banho de tinta spray na cor prata. A comparação entre o fuso sem pintura e o fuso pintado está demonstrada na Figura 65.

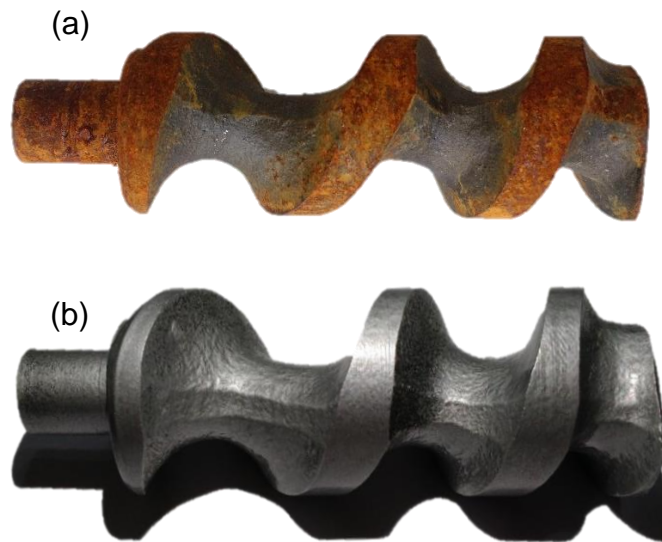


Figura 65 – Comparação entre a peça oxidada (a) e a peça pintada (b)

#### **4.1.2 Problemas no escoamento de ingredientes sólidos**

Ao realizar a montagem do sistema de seleção de ingredientes sólidos, executou-se alguns testes de funcionamento para verificar se o resultado sairia como o esperado. Porém verificou-se que alguns componentes não funcionaram adequadamente. Abaixo será descrito como procedeu-se diante destas não conformidades.

##### **4.1.2.1 Furo com dimensões inadequadas**

Uma das não conformidades encontradas foram as dimensões do furo que não eram adequadas para o escoamento do ingrediente, conforme demonstrado na Figura 66.





Figura 66 - Furo com dimensões inadequadas

Para aumentar as dimensões do furo de modo que o ingrediente dosado pudesse ter um aumento de vazão, realizou-se o fresamento do tubo, conforme demonstrado na Figura 67.



Figura 67 – Fresamento do tubo

Após o fresamento do tubo, realizou-se a montagem dos componentes, tubo guia e recipiente de armazenamento de ingredientes sólidos, conforme pode ser visto na Figura 68.

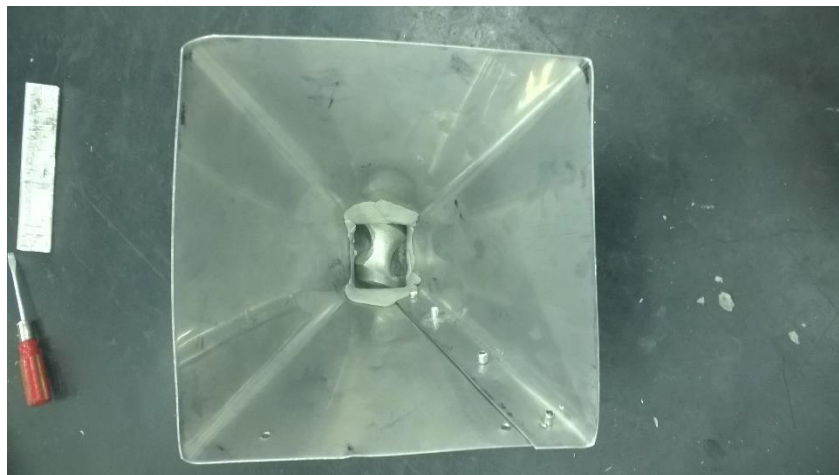


Figura 68 – Montagem dos componentes do sistema de seleção de ingredientes sólidos

#### **4.1.2.2 Descontinuidade no escoamento de ingredientes sólidos**

Durante outro teste de funcionamento do sistema de seleção de ingredientes sólidos, verificou-se que ao adicionar alguns ingredientes, os mesmos não escoavam para o fundo do recipiente para serem dosados. Devido a esta condição, levantou-se duas alternativas como possíveis soluções para este problema. A primeira alternativa foi a instalação de um motor de corrente contínua com uma carga excêntrica fixada ao eixo para gerar uma vibração na chapa do recipiente de armazenamento de ingredientes sólidos. A segunda alternativa foi a instalação de outro motor de corrente contínua com um misturador acoplado ao seu eixo, junto ao recipiente de armazenamento de ingrediente, forçando o escoamento do ingrediente. A montagem com as soluções levantadas pode ser vista na Figura 69.

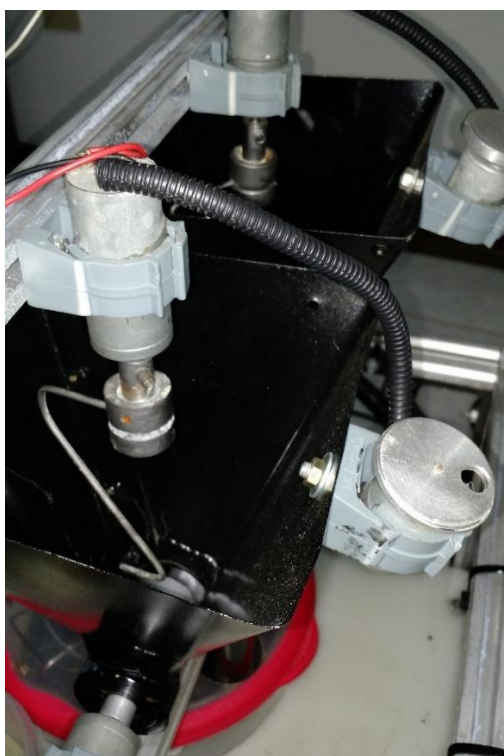


Figura 69 – Montagem do misturador e vibrador junto ao recipiente de armazenamento

#### **4.1.3 Método de verificação de quantidade dosada de ingredientes sólidos**

Durante a concepção do projeto do PDLPB, levantou-se algumas possibilidades de método de verificação da quantidade dosada de ingredientes sólidos. Dentre essas possibilidades, cogitou-se utilizar um componente constituído de uma balança e um recipiente basculante conforme Figura 70. A utilização deste componente, proporcionaria uma maior precisão no controle da grandeza mensurada.

Devido à complexidade de implementação deste componente à estrutura do PDLPB, o mesmo teve sua utilização descartada, adotando-se então, a contagem de tempo como método de medição.

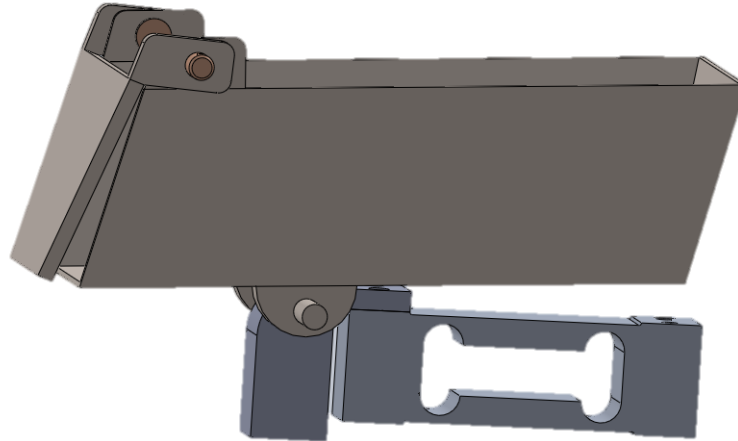


Figura 70 – Componente constituído de basculante e balança

#### 4.1.4 Aquecimento indesejado

Após a realização de alguns testes de funcionamento, verificou-se o aquecimento indesejado dos componentes próximos a saída do forno. Para diminuir o efeito deste aquecimento, foram instalados três *coolers*, para aspirar o ar em alta temperatura expelido do forno e assim direcioná-lo para fora do PDLPB. Devido ao fato de ser um componente de segurança, o mesmo é acionado desde que a fonte de alimentação do PDLPB é energizada. Na Figura 71 é possível observar a montagem dos *coolers* na saída do forno.

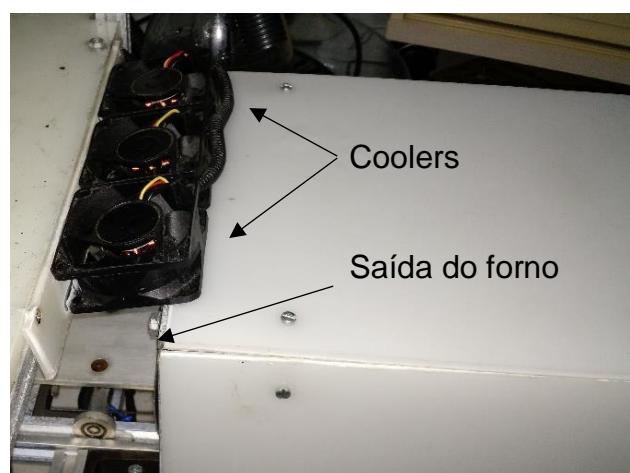


Figura 71 – Montagem dos coolers

#### **4.1.5 Dilatação térmica dos componentes mecânicos**

Ao realizar o primeiro teste de integração do sistema de movimentação com o sistema de cocção, verificou-se a interrupção no funcionamento do sistema de movimentação. Após a verificação desta não conformidade, iniciou-se um processo de análise para investigação das possíveis causas do problema. Os resultados obtidos indicaram que o rolamento utilizado estava operando em condições térmicas inadequadas, o que ocasionou o defeito do componente.

A solução encontrada para o problema foi a substituição do rolamento por uma bucha equivalente confeccionada em aço ABNT 1045. O material utilizado foi selecionado devido ao baixo coeficiente de dilatação térmica.

#### **4.1.6 Ponte H com sistema transistorizado**

Durante a etapa de teste dos driver's de acionamento dos motores CC com inversão de polaridade, constatou-se a redução na rotação nominal dos motores. Realizou-se então uma medição de tensão nos terminais dos motores e verificou-se que os valores medidos eram inferiores aos valores mínimos necessários para o funcionamento ideal dos mesmos. A causa do problema foi o mau dimensionamento dos transistores utilizados. O modelo de transistor utilizado apresenta tensão coletor-emissor de 2,0V, como o modelo de ponte H utilizado possuía dois transistores por sentido de rotação, a queda de tensão calculada para o driver era igual à 4,0V, o que tornou o driver incompatível com o funcionamento do motor.

Com o intuito de resolver o problema descrito acima confeccionou-se então um modelo de ponte H utilizando contatos comutadores de relés. Os mesmos não apresentam queda de tensão considerável, que venha a prejudicar o funcionamento ideal do sistema. Em contrapartida, tornou-se impraticável o controle de velocidade de rotação do motor devido aos relés apresentarem funcionamento baseado no chaveamento eletromecânico.

#### **4.1.7 Variação de medição de corrente elétrica**

O controle de posicionamento final do sistema de movimentação é realizado através do aumento da corrente elétrica do atuador em virtude do bloqueio do seu eixo mediante o impedimento da movimentação do carrinho (corrente de eixo bloqueado). Em consequência da dilatação térmica de alguns componentes ligados ao sistema de movimentação, verificou-se que o atuador responsável pela movimentação deste sistema demandou uma elevação de potência para o funcionamento adequado. Devido a esta circunstância, a corrente elétrica mensurada atingiu valores superiores à corrente de eixo bloqueado, acarretando a parada súbita do carrinho.

Para solucionar o problema, a corrente de eixo bloqueado tornou-se uma variável diretamente proporcional e dependente do valor de temperatura mensurado na região interna do forno.

Com a utilização deste método, o sistema de movimentação teve seu funcionamento normalizado.

#### **4.1.8 Desgaste excessivo no cabo de aço**

Após a realização de repetitivos testes, constatou-se o elevado desgaste do cabo de aço utilizado para movimentação do carrinho transportador da forma. O ponto crítico de desgaste do cabo, encontra-se no acoplamento do atuador do sistema de movimentação e pode ser visualizado na Figura 72. Recomenda-se que sejam realizadas inspeções visuais antes da utilização para garantir o funcionamento ideal do PDLPB. Caso necessário, deve ser feita a troca do cabo.

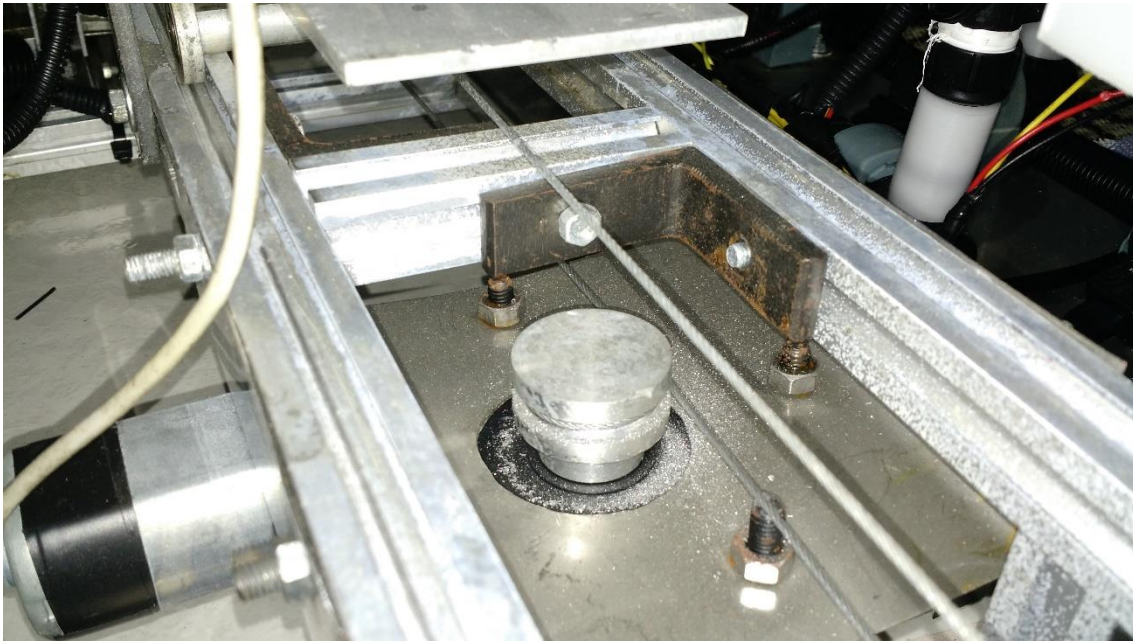


Figura 72 – Ponto crítico de desgaste do cabo de aço

## **4.2 Resultados conformes**

Neste item serão descritos os resultados obtidos para os sistemas que funcionaram de maneira adequada para a execução das etapas de fabricação do bolo.

### **4.2.1 Dosagem de ingredientes líquidos**

A utilização do sistema de seleção de ingredientes líquidos apresentou resultados satisfatórios, sendo eles: dosagem de quantidade de ingrediente de acordo com o solicitado pelo operador e desligamento automático em caso de falta de ingrediente, evitando o desgaste dos componentes pertencentes ao sistema de seleção de ingredientes líquidos.

### **4.2.2 Sistema Misturador**

De acordo com o projeto, o sistema misturador tem a função de tornar o conjunto de ingredientes numa massa homogênea. Durante os testes de

utilização do mesmo, obteve-se uma massa com homogeneidade dentro dos padrões necessários para produção de um bolo. Além desta constatação, a vedação do recipiente foi outro fator que mostrou-se eficiente, não apresentando vazamento da massa durante o processo de mistura.

#### **4.2.3 Dosagem da massa**

A válvula do sistema de dosagem de massa teve seu funcionamento validado, durante teste manual realizado em bancada, como pode ser visto na Figura 62. Durante o processo de análise de funcionamento, verificou-se que o escoamento da massa apresentou resultado satisfatório.



Figura 73 – Funcionamento da válvula dosadora

#### **4.2.4 Controle de dosagem da massa**

A validação dos testes finais de dosagem da massa se deu com a verificação do controle da quantidade de massa inserida na forma do bolo, mediante a utilização do sensor ultrassônico. A utilização do sensor, para tal finalidade resultou no controle da quantidade específica de massa para ser assada.



#### **4.2.5 Sistema de cocção**

O sistema de cocção teve o funcionamento de seus componentes validados de maneira individual, num primeiro momento, e, posteriormente, de maneira integrada. A seguir são descritos os testes realizados.

##### **4.2.5.1 Aquecimento interno**

O aquecimento da região interna do sistema de cocção se mostrou eficiente mediante a ação das resistências elétricas utilizadas, alcançando valores de temperatura acima do necessário para a cocção do bolo. Neste caso foi realizado um teste utilizando um multímetro como método de medição. A Figura 74 apresenta as resistências aquecidas após um período de uso.

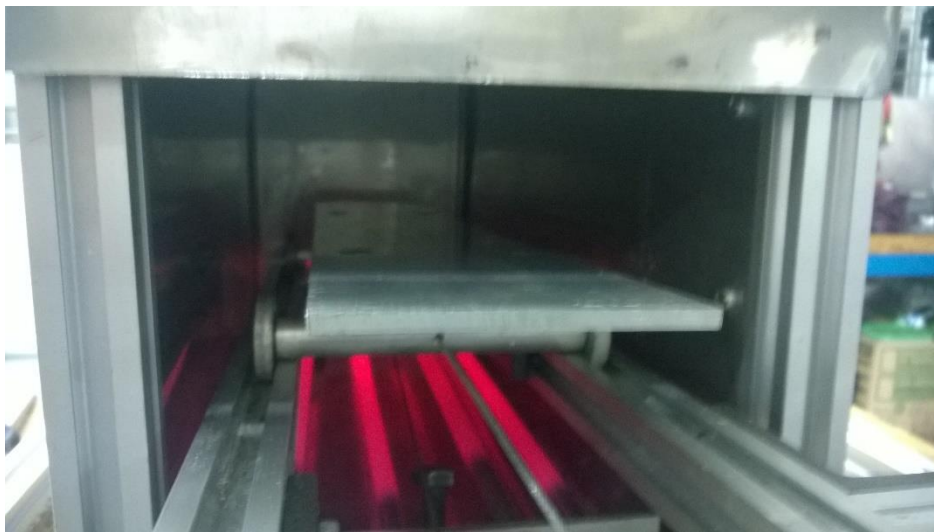


Figura 74 – Resistências aquecidas

##### **4.2.5.2 Controle de temperatura**

Para controlar a temperatura dentro do parâmetro solicitado pelo operador a utilização do sensor LM35 demonstrou-se eficaz para tal finalidade. Durante o teste realizado, verificou-se que a temperatura mensurada pelo componente era adequada ao valor real presente nas resistências.

Com a utilização do sistema de cocção pertencente ao PDLPB, obteve-se um bolo assado de maneira satisfatória.

#### **4.2.6 Sistema extrator**

Conforme o projeto, o sistema extrator tem como finalidade, retirar a forma do sistema de movimentação, e posicioná-la em um local adequado para posterior retirada do PDLPB. Nestas condições, verificou-se que o objetivo foi atingido com sucesso e sem maiores complicações.

#### **4.3 Problema não solucionado**

Após a integração de vários sistemas do PDLPB, verificou-se o funcionamento inadequado de alguns componentes. Além das não conformidades já descritas neste trabalho e que foi encontrada solução alternativa, apresenta-se a seguir um problema de funcionamento que não foi solucionado.

##### **4.3.1 Funcionamento inadequado do servo motor**

Ao executar o processo de pareamento da plataforma Arduino com o sistema de utilização e interface, verificou-se o acionamento indesejado do servo motor utilizado para o controle da válvula dosadora. Este problema também foi verificado quando a fonte de alimentação do PDLPB é conectada à rede elétrica. Até então não foi encontrada solução para este problema.

## 5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Analisando a concepção do projeto e os resultados obtidos após a finalização do mesmo, pode-se afirmar que os resultados esperados pelo projeto, implicaram na necessidade de alterações de componentes da concepção inicial. As alterações realizadas, que foram descritas ao longo deste trabalho, proporcionaram a adequação do protótipo aos resultados esperados na sua concepção.

Verificou-se que o desenvolvimento do trabalho possibilitou aos integrantes do grupo, experimentar situações semelhantes às encontradas no segmento industrial. Áreas de desenvolvimento de projetos mecânicos, eletrônicos e de softwares, fabricação mecânica, metrologia e montagens, foram abordadas com frequência no decorrer das atividades.

Em decorrência de inúmeros contratempos, tais como, liberação de recursos, falta de equipamentos adequados às atividades realizadas, interrupção do desenvolvimento, alterações de projeto, dificuldade para encontrar literaturas que abordam o tema proposto, o cronograma sofreu atrasos, impossibilitando a conclusão do projeto no tempo inicialmente proposto.

Apesar de todos os problemas encontrados, os resultados obtidos encontraram-se dentro da expectativa inicial. Verificou-se que será possível a utilização do protótipo desenvolvido como recurso didático para apresentar modelo de sistemas automatizados de produção dentro das disciplinas que envolvam tais aplicações. Porém se houver interesse em eventuais melhorias, sugere-se as seguintes alterações e implementações:

- A. Aumento da quantidade de sistemas de seleção de ingredientes;
- B. Alteração do método de verificação de quantidade dosada de ingredientes sólidos, para outro que apresente maior precisão;
- C. Implementação de sistema de autolimpeza;
- D. Implementação de sistema de alimentação automática de formas;
- E. Implementação de alertas referentes as falhas de processo;
- F. Redução dos ruídos de operação;

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. C. M. L.; SILVA, D. R. C. **Introdução a Automação Industrial**. Disponível em: <[http://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1\\_9.pdf](http://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_9.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2015.

ARDUINO FAQ. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/FAQ>>. Acesso em: 13 dez. 2015

CASTOLDI, R; POLINARSKI, C. A. **A utilização de Recursos didático-pedagógicos na motivação da aprendizagem**. In: II SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIENCIA E TECNOLOGIA. Ponta Grossa, PR, 2009. Disponível em:<<http://atividadeparaeducacaoespecial.com/wp-content/uploads/2014/09/recursos-didatico-pedag%C3%B3gicos.pdf> >. Acesso em: 28 fev. 2016.

EMBARCADOS. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>. Acesso em: 15 dez. 2015

GOEKING, W. **Da máquina a vapor aos softwares de automação**. Portal O setor elétrico, Santa Cecília, SP. 2010. Disponível em: <[http://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/memoria\\_maior\\_10.pdf](http://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/memoria_maior_10.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2015.

GRAELLS, P.M.. **Los medios didácticos**. Disponível em: <<http://peremarques.pangea.org/medios.htm>>

JURIZATO, L. A.; PEREIRA, P. S. R. **Sistemas Supervisórios**. In: Network Technologies, Nova Odessa, v.1/2, n.1/2, p.105-114, 2002/2003 – ISSN: 1677-7778 (versão impressa). <<http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/sistemasSupervisorios.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

MAZZAROPI, M. **Sensores de Movimento e Presença**. Rio de Janeiro, RJ, 2007. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001369.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2016

NATIONAL INSTRUMENTS. Disponível em: <<http://www.ni.com/labview/pt/>>. Acesso em: 04 mar. 2017.

NEWTON C. BRAGA. **Como funcionam os Sensores de temperatura (ART764)**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6097-art764>>. Acesso em: 16 nov. 2015.

OLIVEIRA, O. B. de; TRIVELATO, S. L. F. **Prática docente: o que pensam os professores de ciências biológicas em formação?** In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICA DE ENSINO. Rio de Janeiro, RJ, 2006. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/revistateias/article/view/24615/17594>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

PEREZ, A. L. F.; DARÓS, R. R.; PUNTEL, F. E.; VARGAS, S. R.; **Uso da Plataforma Arduino para o Ensino e o Aprendizado de Robótica.** Disponível em: <[http://www.icbl-conference.org/proceedings/2013/papers/Contribution77\\_a.pdf](http://www.icbl-conference.org/proceedings/2013/papers/Contribution77_a.pdf)>. Acesso em: 09 dez. 2015.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica.** São Paulo, SP, 2005. Editora Prentice Hall.

SANTO, J. A. E.; CASTELANO, K. L. e ALMEIDA, J. M. **Uso de tecnologias na prática docente: Um estudo de caso no contexto de uma escola pública no interior do Rio de Janeiro.** II Congresso Internacional TIC e Educação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Espírito Santo: Revista Educação & Tecnologia, n. 12. pp 1023-1031.2012. Disponível em: <<http://ticeduca.ie.ul.pt/atas/pdf/24.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

SANTOS, M. A. S. **Funcionamento do chuveiro elétrico.** Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/funcionamento-chuveiro-eletrico.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

SOUZA, S. E. **O uso de recursos didáticos no ensino escolar.** In: I ENCONTRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO, IV JORNADA DE PRÁTICA DE ENSINO, XIII SEMANA DE PEDAGOGIA DA UEM: “INFANCIA E PRÁTICAS EDUCATIVAS”. Maringá, PR, 2007. Disponível em: <<http://www.dma.ufv.br/downloads/MAT%20103/2015-II/slides/Rec%20Didaticos%20-%20MAT%20103%20-%202015-II.pdf>>. Acesso em 02 mar. 2016.

SOUZA, C. H. de. (2003). **Comunicação, Educação e Novas Tecnologias.** Campos dos Goytacazes, RJ. Editora FAFIC.

SOUZA, V. A. **Artigo Sobre LabView.** Disponível em: <[http://www.cerne-tec.com.br/artigo\\_labview.pdf](http://www.cerne-tec.com.br/artigo_labview.pdf)>. Acesso em 06 mar. 2016.

TERÇARIOL, G. S.; MINAMIHARA, M. K.; BERTACHI, A. H.; ANGÉLICO, B. A.; **Sistema supervisor para controle de temperatura em kit educacional microcontrolado.** Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/103343.pdf>>. Acesso em 09 dez. 2015.

WENDLING, M. **Sensores**. Disponível em:  
<<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em 12 dez. 2015.