

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

MARLON DEMICHEI

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BALANÇA PARA EMPILHADEIRA**

MONOGRAFIA

CURITIBA  
2014

MARLON DEMICHEI

## **DESENVOLVIMENTO DE UMA BALANÇA PARA EMPILHADEIRA**

Monografia de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: M.Sc. Simone Massulini Acosta

CURITIBA  
2014

À Deus, à minha família, à minha mãe, Odete, à minha  
madrinha, Adair, e à minha querida noiva Karina.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe Odete, à minha madrinha Adair, à toda minha família e amigos.

Uma dedicação especial a Deus e à minha companheira e amada Karina.

Agradeço aos meus supervisores pela paciência principalmente à professora Simone.

Agradeço ao Márcio pelos grandes ensinamentos em eletrônica e como profissional, pelo encorajamento e por passar a confiança durante o processo de desenvolvimento deste projeto. Agradeço à Henry por ceder os instrumentos, equipamentos e todo o conjunto de materiais necessários para que esse projeto fosse desenvolvido.

Agradeço aos mestres do curso de Especialização em Automação Industrial da UTFPR.

Agradeço a todos os demais colaboradores que me possibilitaram alcançar os objetivos esperados com este trabalho.

## RESUMO

DEMICHEI, Marlon. **Desenvolvimento de uma balança para empilhadeira**. 2014. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

O aumento da capacidade de produção na indústria tem incentivado o investimento em empilhadeiras, que são máquinas utilizadas para a movimentação segura de cargas. Essas são a alternativa mais adequada para o transporte eficiente dos bens produzidos e da organização dos armazéns e estoques. Porém, em muitos locais reservados para essa finalidade torna-se um desafio e até um risco para o operador da empilhadeira suspender cargas de até quatro toneladas, pois em muitos casos não se conhece o peso da carga. Como as soluções comerciais existentes para resolver esse problema são de custo elevado, neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma balança para a automatização de empilhadeiras. Essa balança possui como componentes principais um transdutor de pressão, uma central de armazenamento e processamento de dados e interfaces com o operador. Os resultados obtidos nos ensaios mostraram que a solução desenvolvida é viável para ser utilizada em empilhadeiras.

**Palavras chave:** Empilhadeira. Automação. Transmissor de Pressão. Balança.

## ABSTRACT

DEMICHEI, Marlon. **Development of a weighing-machine for forklif.** 2014. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The increase in production capacity in the industry has encouraged investment in forklifts, machines used for the safe handling of loads. They are the most appropriate alternative for the efficient transportation of loads produced and the organization of warehouses and inventories. However, in many locations reserved for this purpose, it becomes a challenge and a risk for the operator of the forklift suspend loads up to four tons, because in many cases does not know the weight of the load. Because of this and how existing solutions for this problem are expensive presented in this paper the development of a weighing-machine to automate forklifts. This has as main components a pressure transducer, a central storage and processing of data and interfaces through display and keys. This development was divided into stages of research, hardware design, firmware implementation, testing equipment, testing and calibration of general functioning. After the system is completed, the test results obtained showed the applicability of the product. The solution developed is presented satisfactory and feasible.

**Keywords:** Forklift. Automation. Pressure transducer. Weighning-machine.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma empilhadeira.....	15
Figura 2 – Curva de carga de empilhadeira. ....	16
Figura 3 – Modelos de transmissores de pressão.....	17
Figura 4 – Representação da curva de calibração característica do transmissor de pressão.....	18
Figura 5 – Arquitetura do microcontrolador ARM Cortex-M3.....	20
Figura 6 – <i>Display</i> LCD 16x2 a caracter.....	20
Figura 7 – Principais instruções de acesso às funcionalidades do <i>display</i> . ....	21
Figura 8 – Tabela com os endereços da DDRAM interna do <i>display</i> LCD 16x2 .....	22
Figura 9 – Partes funcionais do relé.....	22
Figura 10 – Diversos modelos de relés .....	23
Figura 11 – Botões SMD .....	24
Figura 12 – Regulador linear de tensão .....	25
Figura 13 – Regulador chaveado de tensão .....	25
Figura 14 – Memória <i>flash</i> .....	26
Figura 15 – Partes que compõem a balança.....	27
Figura 16 – Roteamento da placa principal da balança .....	30
Figura 17 – Placa principal.....	30
Figura 18 – Placa principal sem os componentes .....	31
Figura 19 – Placa principal com os componentes.....	31
Figura 20 – Fluxograma do funcionamento do sistema da balança .....	33
Figura 21 – Função principal do sistema da balança .....	34
Figura 22 – Fluxograma do processo de ajuste da curva de funcionamento do transmissor.....	35
Figura 23 – Função para calcular o peso da carga .....	36
Figura 24 – Protótipo funcional da balança .....	37
Figura 25 – Montagem da central eletrônica da balança na empilhadeira .....	38
Figura 26 – Instalação do transmissor de pressão.....	38
Figura 27 – Sistema hidráulico da empilhadeira.....	39
Figura 28 – Instalação elétrica da balança na empilhadeira .....	39
Figura 29 – Garfos da empilhadeira e <i>pallet</i> .....	41
Figura 30 – Ensaio de funcionamento do sistema da balança .....	41
Figura 31 – Circuitos de alimentação da placa principal .....	48
Figura 32 – Circuitos do microcontrolador da placa principal.....	49
Figura 33 – Circuitos das interfaces homem-máquina da placa principal .....	50
Figura 34 – Circuitos de entrada e saída da placa principal.....	51
Figura 35 – Principais funções do código implementado .....	52

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1	TEMA	9
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	9
1.3	PROBLEMA	10
1.4	OBJETIVOS	11
1.4.1	Objetivo Geral	11
1.4.2	Objetivos Específicos	11
1.5	JUSTIFICATIVA	12
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	12
1.7	EMBASAMENTO TEÓRICO	13
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	EMPILHADEIRA	15
2.2	TRANSMISSOR DE PRESSÃO	17
2.3	SISTEMAS ELETRÔNICOS	19
2.3.1	Microcontrolador	19
2.3.2	<i>Display</i> de Cristal Líquido	20
2.3.3	Relé	22
2.3.4	Botões	23
2.3.5	Circuitos Reguladores	24
2.3.6	Memória <i>Flash</i>	26
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>27</b>
3.1	CIRCUITOS ELETRÔNICOS	28
3.1.1	Transmissor de Pressão	28
3.1.2	Circuito Eletrônico Principal	28
3.1.3	Placa Principal	29
3.2	<i>FIRMWARE</i>	32
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>43</b>
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DOS CIRCUITOS ELETRÔNICOS DO SISTEMA DA BALANÇA	48
	APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE	52



## 1 INTRODUÇÃO

A indústria que investe em automação industrial tem conseguido reduzir relativamente seus custos e aumentado sua eficiência. Devido a competitividade do mercado, os processos produtivos precisam ser mais rápidos e eficazes para que os pedidos dos clientes sejam atendidos dentro de prazos menores (MONACO, 2013).

O processo de automatização industrial não está relacionado apenas ao investimento em máquinas para o aumento do desempenho das linhas de produção. Tem-se percebido que os processos operacionais, como a movimentação e a armazenagem de cargas nos armazéns, podem ser o diferencial nos custos finais dos produtos. O setor de logística responsável pelo armazenamento, recebimento e envio de produtos passa por um cenário maior de planejamento e o investimento em mobilidade dos produtos tornou-se rentável (ODA, 2009).

O uso de empilhadeiras para a movimentação de produtos garante, além da rapidez na movimentação interna, a segurança da carga durante o transporte e a facilidade para sua armazenagem. Todavia, esses veículos são limitados na capacidade de carga (GOUVEIA, 2011).

Normalmente o operador não possui conhecimento do valor real do peso dos produtos que irá transportar, mas somente uma estimativa.

Um problema comum nas indústrias é o transporte de cargas que superam a capacidade de peso suportada pela empilhadeira podendo causar danos à carga, danificar o veículo e trazer riscos ao operador, além do prejuízo financeiro que pode gerar para a empresa (GOUVEIA, 2011).

Como forma de contornar esse problema e prevenir que o uso inadequado das empilhadeiras cause esses prejuízos, propõe-se neste trabalho o desenvolvimento de um sistema eletrônico para uma balança de carga de uma empilhadeira. Trata-se de um dispositivo que utiliza um transmissor de pressão, instalado de modo a medir a pressão exercida pela carga, e por um controlador microprocessado, para realizar o tratamento dos dados e controlar a interface da balança com o usuário.

## 1.1 TEMA

A evolução da automação industrial está intimamente ligada às novas tecnologias surgidas no campo da eletrônica. Produtos como Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e microcontroladores são produzidos com ampla capacidade de processamento e armazenamento, com maior número de entradas e saídas para sensores e atuadores, com uma flexibilidade de conexão com diferentes interfaces de comunicação, além da facilidade de desenvolvimento. Esses componentes servem à demanda das empresas do setor industrial e de desenvolvimento e podem ser integrados a máquinas e veículos para monitorar atividades operacionais e de gerenciamento (PAREDE; GOMES, 2011).

Na área de mobilidade e movimentação de cargas, por exemplo, tem-se como opção para as empresas a utilização de veículos elétricos ou a gás, como as empilhadeiras, que são utilizadas para transportar lotes de produção, movimentar e armazenar produtos nos estoques (MAESTAS, 2011).

Devido a grande utilização de empilhadeiras nas indústrias, neste trabalho foi desenvolvido um sistema eletrônico para uma balança de carga para empilhadeira, que possibilita a obtenção da informação do peso da carga, viabilizando o gerenciamento durante a movimentação e operação do veículo. O processo de automatização utilizado nesse sistema visa garantir a integridade das cargas, a vida útil da empilhadeira e a diminuição dos riscos para o operador.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O enfoque deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema eletrônico de uma balança para empilhadeira, que é um veículo amplamente utilizado pelos setores de logística nos processos industriais. Esse trabalho foi motivado principalmente pelo aumento da demanda por segurança e diminuição dos riscos no transporte de produtos dentro das instalações industriais.

Esse sistema representa uma melhoria nas operações de movimentação, transporte e armazenagem de cargas em ambientes como galpões, armazéns e barracões. Com esse sistema os operadores podem controlar e gerenciar a

movimentação de cargas, identificando o peso transportado e armazenando adequadamente nos estoques.

Foram requisitos necessários para o desenvolvimento deste sistema o entendimento sobre o funcionamento de empilhadeiras, os princípios de eletrônica analógica e digital para o projeto do sistema com o microcontrolador, a programação de microcontroladores e as noções de instrumentação industrial para uso do transmissor de pressão.

### 1.3 PROBLEMA

Esse trabalho foi realizado em uma indústria que possui uma empilhadeira, movida a gás, utilizada pelo setor de logística para o recebimento de cargas, movimentação dos lotes produzidos nas linhas de produção, armazenagem no estoque e carregamento de caminhões. Essa empilhadeira é um veículo de extrema importância para a empresa, pois as cargas a serem transportadas são de peso elevado da área de metalurgia e essa possibilita a retirada e o armazenamento seguro das cargas em locais altos no estoque. A empilhadeira, então, torna o trabalho de transporte e armazenagem ágil e seguro nos locais da empresa.

Problemas com o funcionamento desse veículo implicariam em atraso na linha de produção e montagem, formação de filas de fornecedores para o descarregamento de materiais, desorganização do estoque, atraso na entrega de produtos e prejuízo financeiro à empresa.

Os modelos de empilhadeiras diferenciam-se quanto ao *design* e principalmente quanto à capacidade de carga transportada. O modelo utilizado nesse trabalho possui capacidade máxima para transportar 2.500 kg, sendo este o valor limite para o funcionamento e operação correta do veículo.

Normalmente, torna-se uma dificuldade para o operador de empilhadeira saber quanto pesa a carga que ele irá transportar. Ele pode fazer uso de uma estimativa visual, baseando-se no tipo de material, na quantidade e no volume da carga, porém isso não impede que a carga estimada esteja acima do valor limite de operação da empilhadeira.

A estimativa de carga não é um fator confiável e caso essa esteja acima do valor limite estipulado para o veículo os riscos podem ser elevados. A carga pode

ceder e ser danificada durante o transporte, o operador pode sofrer algum acidente, o veículo pode ter as ligações hidráulicas rompidas, o motor do veículo pode sofrer algum dano, entre outros prejuízos.

Com o contexto apresentado, a pergunta que se pretende responder com este trabalho é se com o desenvolvimento de um sistema simples e a um custo reduzido consegue-se fazer a automatização de empilhadeiras e reduzir os riscos e prejuízos para a empresa.

Para a obtenção dos resultados esperados foi desenvolvido um sistema eletrônico para uma balança de carga para empilhadeira.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema eletrônico para uma balança de carga para uma empilhadeira tornando o processo de armazenamento e o transporte de cargas mais confiável e seguro.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar as características técnicas da empilhadeira.
- Pesquisar as características necessárias para o *hardware* do sistema eletrônico para a balança.
- Selecionar o transmissor de pressão adequado para o sistema.
- Desenvolver o *hardware* do sistema eletrônico para a balança.
- Implementar o *firmware* para testes do *hardware* e de funcionamento do sistema.
- Desenvolver a interface com o usuário.
- Instalar o sistema na empilhadeira e realizar testes de funcionamento.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Visto que o setor de logística das empresas tem desempenhado papel fundamental no crescimento dessas, verifica-se a tendência de crescimento de investimentos no setor para os próximos anos. As empilhadeiras são exemplos de investimento que apresenta um retorno positivo para o investidor, pois se tratam de veículos motorizados que tornam a movimentação de cargas ágil, transportam um volume maior de carga a uma velocidade maior e atingem locais de difícil acesso nos estoques, além de trazer maior segurança para os materiais (CROWN, 2013).

A operação da empilhadeira na empresa estudada nesse projeto serve para transportar os materiais e peças que chegam de fornecedores e os produtos que saem das linhas de produção para o armazenamento no estoque. Geralmente as cargas são montadas sob *paletts*, que são movimentados pelas empilhadeiras nas operações industriais. O operador consegue elevar a carga e armazená-la em locais com até cinco metros do chão. Esses locais são planejados pelo gerente do estoque conforme o prazo de uso ou saída do produto.

No entanto, o uso da empilhadeira está condicionada a um valor limite do peso da carga a ser transportada, que para a empilhadeira em estudo é de 2.500 kg. Esse valor deve ser respeitado pelo operador para que sejam mantidas estáveis suas condições para uso e a segurança na movimentação.

A partir disso, o desenvolvimento de um sistema eletrônico para uma balança, que possibilite a medição do peso da carga, surge como uma opção de automatização da empilhadeira para auxiliar o operador e melhorar o controle e o gerenciamento das cargas.

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa deste trabalho relaciona diretamente a automação industrial com a eletrônica aplicada. Tal pesquisa mostra a necessidade de junção dessas duas áreas para a realização de inovações tecnológicas. Para este trabalho as noções de programação de microcontroladores e desenvolvimento do *hardware* são fundamentais para que dispositivos de instrumentação possam ser integrados e constituam melhorias nos processos.

O desenvolvimento deste trabalho é composto por algumas etapas que envolvem: estudo da aplicação proposta, pesquisa e detalhamento do *hardware*, desenho de um leiaute para a placa de circuito impresso e para o protótipo final do produto, programação do *firmware* em linguagem C, montagem do protótipo e ensaios na empilhadeira.

O estudo da aplicação proposta visa conhecer as necessidades e detalhes para auxiliar nas especificações do sistema. Esse conhecimento prévio auxilia na seleção dos componentes que fazem parte do circuito eletrônico.

A seleção de um transmissor de pressão adequado para a aplicação é uma etapa importante e leva em consideração as características elétricas, mecânicas e funcionais da empilhadeira. O limitante de peso é também um fator importante para a seleção do dispositivo.

Tendo especificado o *hardware*, a etapa seguinte é o projeto do circuito eletrônico e elaboração do leiaute da placa. Nesta etapa são consideradas as características finais do protótipo, o aspecto visual e a robustez.

Durante a fabricação da placa de circuito impresso iniciou-se o desenvolvimento do *firmware* para a balança. Esta atividade deve atender a necessidade da aplicação final do produto e garantir o funcionamento correto do *hardware*. Nesta fase foram levantados os requisitos do sistema, pensando numa interface objetiva e de fácil utilização pelo usuário. Finalmente, após a montagem do protótipo foram realizados os testes do sistema, a instalação na empilhadeira e os ensaios de funcionamento da balança na empilhadeira.

## 1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

As principais referências encontradas relativas às empilhadeiras utilizadas nesse trabalho são Brock (2014), Crown (2013), Gonçalves (2013), Gouveia (2011), Maestas (2011), Monaco (2013), Oda (2009) e Spears (2011).

Sobre o assunto de transmissores de pressão as referências utilizadas são Cassiolato (2010) e Patsko (2006).

As referências utilizadas relacionadas ao desenvolvimento eletrônico de *hardware* e *firmware* do sistema da balança são ARM (2014), Cunha (2009), Finder

(2014), Kingston (2012), Metaltex (2014), Saber (2008), Saber (2007) e Wendling (2009).

## 1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a estrutura apresentada abaixo.

**Capítulo 1 – Introdução:** Apresentados o tema, as delimitações da pesquisa, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico e a estrutura geral do trabalho.

**Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** São apresentadas as teorias sobre os principais componentes e equipamentos utilizados no projeto.

**Capítulo 3 – Desenvolvimento:** Aborda a especificação e projeto de desenvolvimento do *hardware*, assim como o detalhamento do *firmware* e do sistema da balança.

**Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados:** São apresentados os procedimentos de ensaios e a validação do sistema desenvolvido. Descrevem-se os resultados obtidos e as análises relacionadas ao funcionamento do sistema da balança.

**Capítulo 5 – Considerações Finais:** Apresenta os aspectos finais do trabalho proposto, considerando os resultados obtidos e os requisitos iniciais estabelecidos. São sugeridos também melhoramentos futuros que podem ser realizados a partir do estudo realizado.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 EMPILHADEIRA

A empilhadeira é um veículo de manuseamento de materiais que eleva as cargas e as move para outros locais (BROCK, 2014). Esse equipamento possui grande gama de aplicações na indústria e variedade de modelos conforme o motor que utiliza, podendo ser a gasolina, diesel, elétrico e gás natural (SPEARS, 2011). A Figura 1 apresenta a ilustração de uma empilhadeira comum.



**Figura 1 – Representação de uma empilhadeira.**  
Fonte: SPEARS (2011).

Como apresentado na Figura 1, a empilhadeira possui uma cabine, da qual o operador acessa os controles operacionais do veículo. Fazem parte da cabine: volante, freio, acelerador, controle de inclinação dos garfos (indicado pelo número 4), painéis indicadores e controles para elevar e abaixar e o teto da cabine (indicado pelo número 10).

Logo abaixo do assento da cabine, localiza-se o espaço para o armazenamento das baterias que servem para alimentação interna ou externa. O local indicado pelo número (9) na Figura 1 é o chassi. Algumas tensões comuns



para as baterias utilizadas nas empilhadeiras são de 12 V e 48 V. O acesso a essa tensão pode ser obtida diretamente nos contatos da chave de ignição (DISPEL, 2005).

Em alguns desses veículos, um tanque com gás propano é montado na parte traseira. Se a empilhadeira for a gás ou combustível, essa ainda possui um reservatório de combustível. Na parte de trás é encontrado também o contrapeso, que mantém a estabilidade da empilhadeira (BROCK, 2014).

Outra parte importante da empilhadeira é o mastro, indicado pelo número (2) na Figura 1. Esse é responsável pela movimentação horizontal e vertical das cargas e é compreendido por diversos elementos como o cilindro de elevação, as correntes de elevação, o encosto, carruagem e os garfos. O mastro é classificado conforme a elevação suportada, sendo *simplex*, *duplex*, *triplex* ou *quadruplex* (BROCK, 2014).

O mastro está ligado ao controle do operador através do sistema hidráulico existente na empilhadeira, indicado pelo número (5) na Figura 1. Este sistema aplica uma pressão à barra com correntes de rolamento (indicado pelo número 3), deslocando o cilindro de elevação. As correntes deslizam pelas roldanas (indicadas pelo número 1) e fazem com que outras partes do mastro sofram elevação, como a plataforma de carregamento (indicado pelo número 6), assim como os garfos. Os garfos servem para o encaixe dos pallets que suportam as cargas, indicados pelo número (7) (BRANCO, 2011).

Cada tipo de empilhadeira possui uma especificação de carga que pode transportar. Esse valor varia com a posição da carga disposta sobre os garfos da empilhadeira ou conforme a posição do centro de massa da carga. As empilhadeiras atuais chegam a transportar até dez toneladas. A Figura 2 apresenta um modelo típico de uma curva de carga de uma empilhadeira.

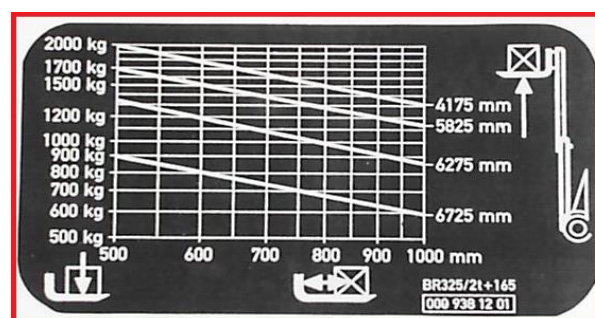


Figura 2 – Curva de carga de uma empilhadeira.  
Fonte: BRANCO (2011).

## 2.2 TRANSMISSOR DE PRESSÃO

Os transmissores de pressão são utilizados em larga escala nos processos e aplicações industriais. Muitos desses processos envolvem medições de pressão, que é uma grandeza básica para a medição e controle de vazão, nível, densidade etc. (CASSIOLATO, 2010). A Figura 3 apresenta alguns modelos de transmissores de pressão disponíveis para diversas aplicações na indústria.



**Figura 3 – Modelos de transmissores de pressão.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Em qualquer sistema de medição de pressão o transmissor de pressão assume o papel de elemento secundário, traduzindo as modificações de pressão ocorridas num elemento primário em valores mensuráveis para indicação, monitoração e controle (CASSIOLATO, 2010).

É comum os transmissores possuírem saída com corrente de 4 a 20 mA, mas também existem equipamentos com saída em níveis de tensão de 1 V a 5 V, de 1 V a 10 V etc. A alimentação mais comum continua sendo de 9 V a 30 V.

A relação entre a entrada e saída de um transmissor de pressão tem característica linear e é dada pela equação (1).

$$Y = aX + b \quad (1)$$

onde:  $b$  representa o zero ou *offset*,

$a$  é representa o ganho.

O *offset* ou zero do transmissor, dado pela letra  $b$  na equação (1), é a menor pressão na qual o transmissor foi calibrado. A equação (1) pode ser representada visualmente como uma curva denominada curva de calibração, Figura 4, onde  $b$  é o coeficiente linear e  $a$  é o coeficiente angular (CASSIOLATO, 2010).

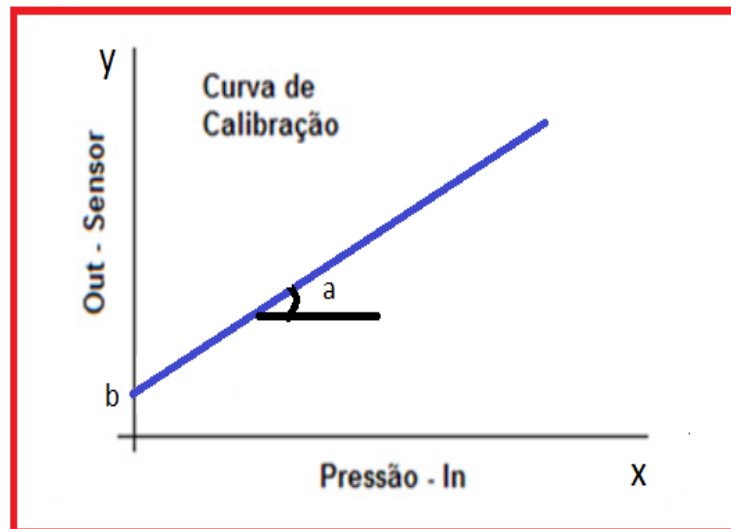


Figura 4 – Representação da curva de calibração característica do transmissor de pressão.  
Fonte: CASSIOLATO (2010).

Outras características importantes dos transmissores de pressão são a definição do *range* do dispositivo, também conhecido por faixa de medição, que compreende a diferença entre a mínima e a máxima pressão que o transmissor pode medir e o *span*, que corresponde à faixa de trabalho em que é realizada a calibração e é também conhecida por faixa de uso (CASSIOLATO, 2010).

O elemento primário de um transmissor de pressão pode possuir diferentes princípios de funcionamento, tais como, variação da capacitância, piezoresistivo, silício ressonante etc. (PATSKO, 2006).

O transmissor de pressão deste trabalho utiliza materiais piezoresistivos. A piezoresistividade descreve a mudança de resistência desses materiais quando pressionados ou deformados (PATSKO, 2006).

## 2.3 SISTEMAS ELETRÔNICOS

O *hardware* da balança é fundamental para o desenvolvimento do dispositivo, pois através dele estrutura-se o *firmware* e a integração com o usuário através das interfaces. Esse módulo principal contém, além de um microcontrolador, todos os recursos físicos que servem como interface entre o sistema e o operador.

### 2.3.1 Microcontrolador

A primeira necessidade levantada para o funcionamento do sistema foi o uso de um microcontrolador para a conversão do sinal transmitido pelo transmissor de pressão em um valor conhecido de peso. O componente foi escolhido visando-se manter a estabilidade na conversão do sinal e a precisão e possuir alta capacidade de amostragem para captar alterações quase que de forma instantânea. O módulo principal realiza a interface com o operador através de outros dispositivos, como *display*, botões e acionamento.

Considerando as famílias de microcontroladores existentes no mercado foi escolhido um microcontrolador baseado na arquitetura ARM Cortex – M3 de 32 bits. Algumas características do processador, essenciais ao desenvolvimento do projeto são (ARM, 2014):

- Memória flash de até 512 kB e memória SRAM com até 64 kB,
- Frequência de operação de até 100 MHz,
- Quatro interfaces seriais do tipo *universal asynchronous receiver transmitter* (UART),
- ISP (*In system programming*),
- 70 pinos de entrada e saída (I/O, *input/output*).
- Conversor analógico/digital de 12 bits com taxa de conversão de até 200 kHz,
- Interfaces como ETHERNET, USB, CAN, SPI, I2C.

Os microcontroladores da família Cortex – M3 são dispositivos projetados para o desenvolvimento de soluções embarcadas e de tempo real devido à

variedade de interfaces de comunicação abrangidas, baixa latência de interrupção, memória interna, pinos acessíveis ao usuário para interfaces de entrada e saída e baixo custo (ARM, 2014). A Figura 5 apresenta um diagrama em blocos da arquitetura do microcontrolador ARM Cortex – M3.

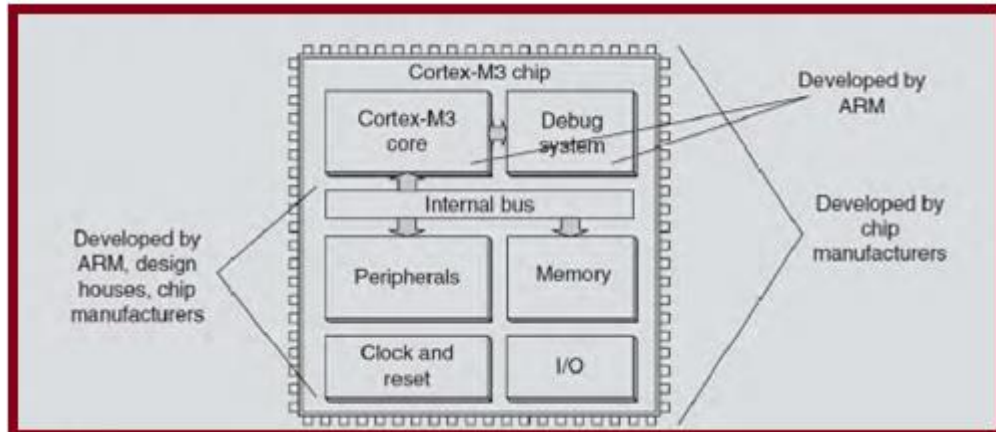


Figura 5 – Arquitetura do microcontrolador ARM Cortex-M3  
Fonte: RENAULT (2014).

### 2.3.2 Display de Cristal Líquido

O *display* integra o sistema da balança e corresponde a um elemento de saída de dados. Ele servirá como interface visual entre a balança e o operador, através da representação de mensagens e de valores numéricos, sendo fundamental para a configuração e a verificação do peso.

Entre inúmeras opções de *displays* LCD (*Liquid Crystal Display*, *Display De Cristal Líquido*) existentes, tais como gráficos, a caracter, coloridos e *touch screen*, optou-se pela utilização de um *display* LCD 16x2 a caracter. Esse *display* foi escolhido visando o desenvolvimento de um dispositivo com custo reduzido. A Figura 6 apresenta o *display* escolhido.



Figura 6 – Display LCD 16x2 a caracter.  
Fonte: Autoria própria.

Esse *display* LCD 16x2 conta com 16 colunas por 2 linhas de caracteres. Possui como opcional a iluminação de fundo, também chamada *backlight*, com alimentação configurável. O consumo de corrente nessa configuração varia de 100 a 200 mA (BARBACENA; FLEURY, 1996).

Normalmente a tensão de alimentação do *display* é de 5V. O *display* possui 16 pinos que podem ser conectados diretamente a um microprocessador ou microcontrolador. O *display* possui oito pinos de dados (D0 até D7), três pinos de controle (RS, R/W e E), um pino de ajuste de contraste, dois pinos para configuração da iluminação e mais 2 pinos para alimentação (BARBACENA; FLEURY, 1996).

O pino 4, denominado RS, é um pino de seleção que alterna entre envio/recepção de dados (quando em nível lógico 1) ou instruções (quando em nível lógico 0) para o *display*. Os dados são informações que serão apresentados como caracteres no *display* enquanto instruções são endereços de registradores que serão acessados na memória interna do *display* para realização de alguma função.

O pino 5, denominado R/W, é um pino de seleção que, conforme o nível lógico 1 ou 0, alterna entre leitura e escrita de dados no *display*, respectivamente. O pino 6, denominado E, é um pino de seleção que quando em nível lógico 1 habilita o *display* para funcionar, e quando em nível lógico 0 desabilita o *display* (BARBACENA; FLEURY, 1996).

A Figura 7 apresenta a descrição das principais instruções utilizadas na comunicação com o *display*.

DESCRIÇÃO	MODO	RS	R/W	Código (Hexa)
Display	Liga (sem cursor)	0	0	0C
	Desliga	0	0	0A / 08
Limpa Display com Home cursor		0	0	01
Controle do Cursor	Liga	0	0	0E
	Desliga	0	0	0C
	Desloca para Esquerda	0	0	10
	Desloca para Direita	0	0	14
	Cursor Home	0	0	02
	Cursor Piscante	0	0	0D
	Cursor com Alternância	0	0	0F
Sentido de deslocamento do cursor ao entrar com caracter	Para a esquerda	0	0	04
	Para a direita	0	0	06
Deslocamento da mensagem ao entrar com caracter	Para a esquerda	0	0	07
	Para a direita	0	0	05
Deslocamento da mensagem sem entrada de caracter	Para a esquerda	0	0	18
	Para a direita	0	0	1C
End. da primeira posição	primeira linha	0	0	80
	segunda linha	0	0	C0

Figura 7 – Principais instruções de acesso às funcionalidades do *display*.  
Fonte: BARBACENA; FLEURY (1996).

O acesso aos caracteres do *display* é realizado através de endereçamento da posição na memória DDRAM interna do módulo. A Figura 8 apresenta os endereços das posições do *display* 16x2 (BARBACENA; FLEURY, 1996).

LCD 16x2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
linha 1	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A	8B	8C	8D	8E	8F
linha 2	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB	CC	CD	CE	CF

Figura 8 – Tabela com os endereços da DDRAM interna do *display* LCD 16x2.  
Fonte: BARBACENA; FLEURY (1996).

### 2.3.3 Relé

Para a indicação de sobrepeso na balança é utilizado o acionamento de um relé eletromecânico que atua para acionar um dispositivo, que pode ser uma sirene ou uma lâmpada. O dispositivo acionado pelo relé serve para indicar ao operador que a carga atingiu o peso máximo.

O relé é um dispositivo eletromecânico constituído por um eletroímã, bobina enrolada com um fio esmaltado, uma armadura metálica, geralmente um material ferromagnético, uma mola e um conjunto de contatos elétricos. A Figura 9 ilustra as partes do relé (SABER, 2009).

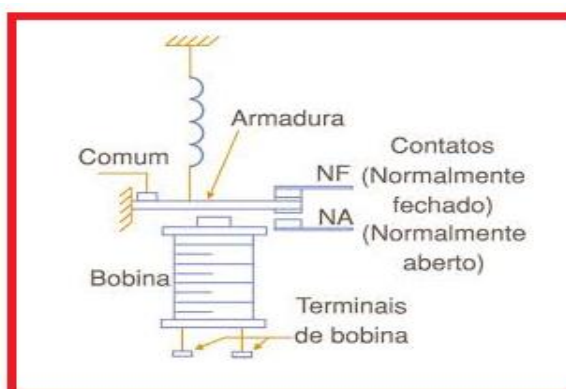


Figura 9 – Partes funcionais de um relé.  
Fonte: SABER (2009).

Quando o relé é alimentado por uma corrente elétrica, o campo magnético criado pela bobina atrai a armadura e direciona o contato móvel para outra posição. A posição natural do contato móvel de um relé é dita normalmente fechada ou NF.

Quando ocorre como citado acima o contato assume outra posição conhecida como normalmente aberta ou NA. Ao ser retirada a alimentação, o contato móvel do relé, conhecido como comum ou CM, assume sua posição natural (CUNHA, 2009).

Uma característica industrial importante dos relés é que eles necessitam de pouca corrente para serem energizados, o que pode ser feito diretamente por um pino de um microcontrolador e um transistor comum. Em contrapartida, esse dispositivo pode controlar cargas que necessitam de altas correntes de acionamento como motores, válvulas, máquinas industriais e alarmes e serve, também, como proteção de entradas e saídas de CLPs. Por esse motivo, tem amplo uso nas indústrias (FINDER, 2014). A Figura 10 ilustra diversos modelos e tipos de relés comercializados atualmente.



**Figura: 10 – Diversos modelos de relés.  
Fonte: METALTEX (2014).**

#### 2.3.4 Botões

Os controles de seleção e de ajustes do sistema da balança são importantes para o funcionamento adequado do dispositivo instalado na empilhadeira. O sistema tem como entrada dois botões, um de seleção e outro de definição das variáveis e funcionalidades do sistema.

Os botões utilizados são simples chaves tácteis no formato *Surface Mounted Design* (SMD) ligadas diretamente aos pinos de entrada e saída (*I/O, input/output*)



do microcontrolador. Seu estado natural de funcionamento é em modo normalmente aberto ou NA. Quando a chave é pressionada assume a configuração normalmente fechada ou NF (METALTEX, 2014). A Figura 11 apresenta o modelo de chave tátil utilizada no desenvolvimento da balança.



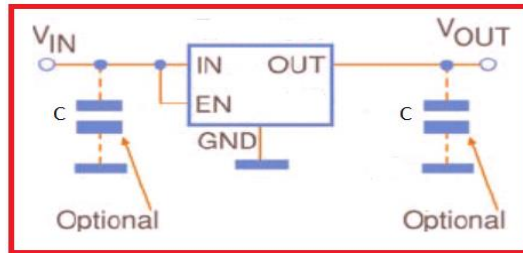
**Figura 11 – Botão SMD.**  
**Fonte: METALTEX (2014).**

### 2.3.5 Circuitos Reguladores

Como apresentado na seção 2.2, a tensão das baterias instaladas nas empilhadeiras pode ser de 12 V ou 48 V. A alimentação do transmissor de pressão pode variar de 9 a 30 V enquanto que os componentes do circuito eletrônico utilizam tensão de alimentação de 3,3 a 5 V.

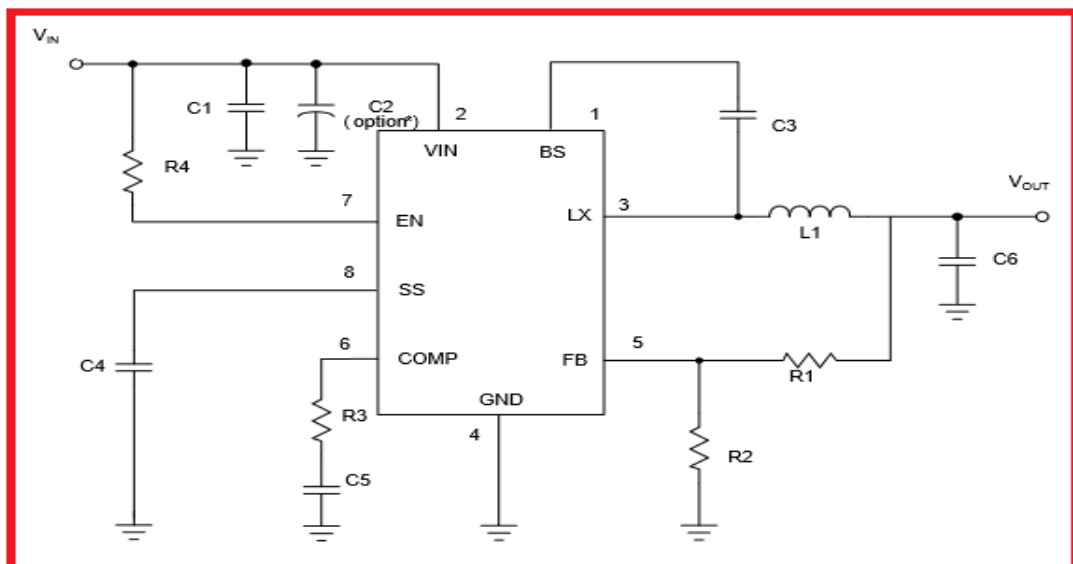
Essas diferenças de tensão existentes no projeto tornam necessária a utilização de circuitos reguladores de tensão. Os reguladores de tensão funcionam de forma a manter a tensão de saída estável em um valor fixo mesmo com variações na tensão de entrada. Os reguladores de tensão fazem parte das fontes de tensão e são utilizados componentes eletrônicos apropriados sob a forma de circuitos integrados e componentes discretos para realizar essa função (WENDLING, 2009).

As fontes de tensão podem ser lineares ou chaveadas. As fontes de tensão lineares utilizam reguladores lineares que trabalham de forma eficiente em circuitos de baixa potência e apresentam uma tensão de saída com baixo *ripple* ou oscilação. A vantagem do uso desse tipo de tecnologia é o pequeno número de componentes externos necessários para o circuito, sendo geralmente apenas um capacitor no pino da tensão de entrada e outro no pino da tensão de saída. A tensão apresentada na saída é contínua. A Figura 12 ilustra o circuito básico de um regulador linear de tensão com  $V_{IN}$  sendo a tensão de entrada,  $V_{OUT}$  a tensão de saída e C os capacitores de entrada e saída (SABER, 2008).



**Figura 12 – Regulador linear de tensão.**  
**Fonte: SABER (2008).**

As fontes de tensão chaveadas utilizam reguladores chaveados que controlam a corrente, ligando e desligando em alta frequência, mantendo a tensão na saída estável. Essa tecnologia apresenta uma maior eficiência comparada aos reguladores lineares, além de possuir aplicação em circuitos de potência como no caso da regulagem para uma tensão acima da tensão da entrada, ou regulagem para uma tensão menor na saída do que a tensão na entrada. O uso dos reguladores chaveados requer a utilização de um número grande de componentes externos como resistores, capacitores e indutores. A escolha desses componentes influencia na estabilidade do sinal de saída (SABER, 2007). A Figura 13 apresenta um exemplo de um circuito com um regulador chaveado.



**Figura 13 – Regulador chaveado de tensão.**  
**Fonte: SABER (2007).**

### 2.3.6 Memória *Flash*

A memória *Flash* é um componente eletrônico capaz de armazenar dados em situações de ausência de energia. É amplamente utilizada em diversos equipamentos eletrônicos e possui, também, aplicações nos produtos utilizados na área industrial (KINGSTON, 2012).

Esses dispositivos apresentam como características: alta capacidade de armazenamento, alto desempenho, acesso de alta velocidade, baixo consumo de energia, versões compactas em circuitos integrados SMD e interface serial. As principais tecnologias de memória *flash* são NAND e NOR, que diferenciam-se no modo como realizam a leitura e o armazenamento dos dados (KINGSTON, 2012).

A Figura 14 ilustra uma memória *flash* no encapsulamento *Small Outline Integrated Circuit* – SOIC 8, com tecnologia SMD.



**Figura 14 – Memória *flash*.**  
Fonte: KINGSTON (2012),

### 3 DESENVOLVIMENTO

A balança para empilhadeira trata-se de um sistema eletrônico que faz a leitura do sinal elétrico transmitido pelo transmissor de pressão, processa esse sinal convertendo-o em uma unidade conhecida de peso e apresenta esse valor para o operador por intermédio de uma interface visual.

O sistema da balança é composto por uma placa principal, dispositivos de entrada (transmissor de pressão e botões) e dispositivos de saída (*display* LCD, relé, LEDs). A placa principal possui uma central de processamento composta por um microcontrolador ARM, interface de entrada para aquisição do sinal proveniente do transmissor de pressão, interface por meio de teclas para operação e seleção e interface de saída para conexão com o *display* LCD, a barra de LEDs e para acionamento de um relé. A Figura 15 apresenta uma visão geral das partes que compõem o sistema da balança.

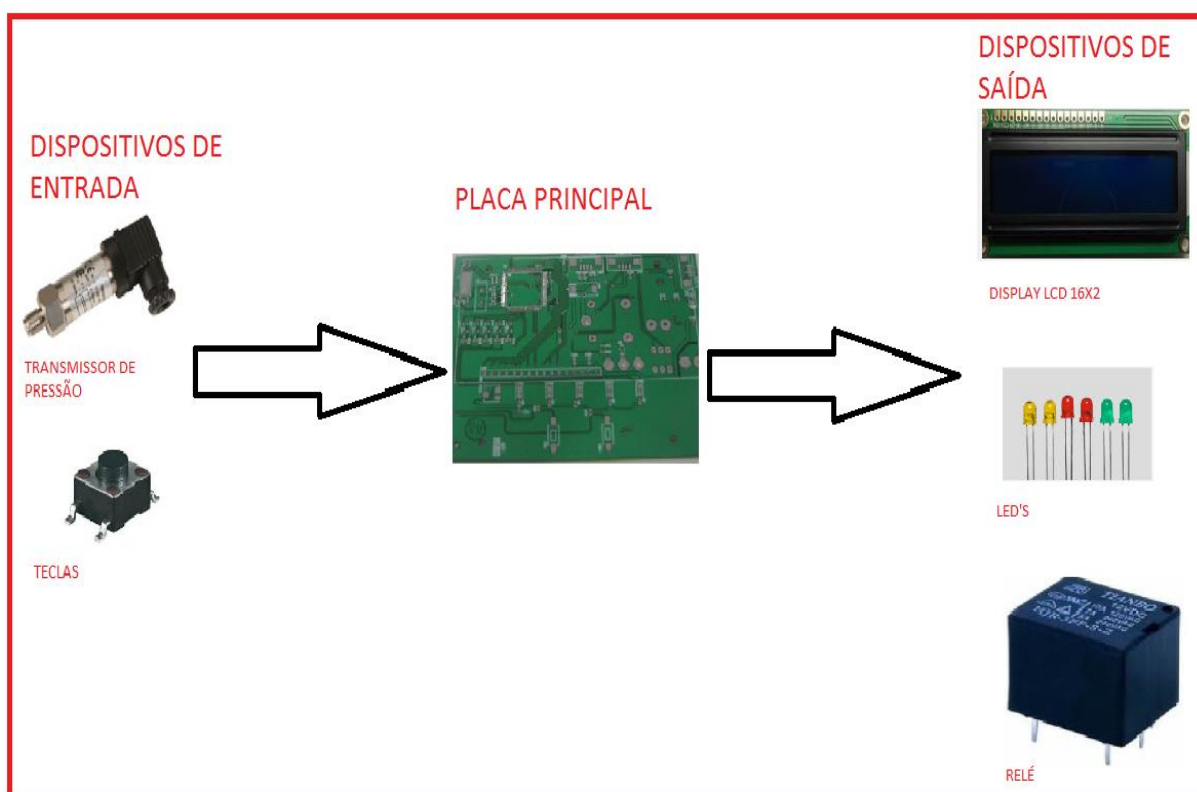


Figura 15 – Partes que compõem a balança.  
Fonte: Autoria própria.

### 3.1 CIRCUITOS ELETRÔNICOS

#### 3.1.1 Transmissor de Pressão

Para a seleção do transmissor de pressão algumas características de operação da empilhadeira foram fundamentais pois esses veículos podem operar em diferentes condições climáticas e os movimentos que realizam são bruscos e variados. Desta forma, o transmissor deve apresentar boas características de funcionamento quando instalados em sistemas hidráulicos móveis.

Sabendo que o transmissor de pressão deve ter como característica principal o funcionamento preciso em aplicações que requerem movimentos instáveis no transporte de cargas pesadas, encontrou-se entre alguns fabricantes, como WIKA, DANFOSS, OEM, algumas linhas de transmissores que atendem às necessidades do projeto.

Foi selecionado um transmissor de pressão resistente à impactos e vibrações, a picos de pressão e à variações climáticas. A faixa nominal de pressão de 100 bar foi definida para atender cargas elevadas de até 2,5 toneladas.

A tensão de alimentação para o transmissor de pressão foi definida a partir das tensões fornecidas pelas baterias das empilhadeiras, sendo a mais comum a tensão de 12 V. Portanto, escolheu-se um transmissor com faixa de alimentação contínua de 8 a 30 V. Outras características do transmissor escolhido são saída em corrente de 4 a 20 mA a dois fios e exatidão de 0,5% do fundo de escala. A conexão hidráulica adotada para o transmissor foi a DIN 3852-E-G1/4 devido às características das conexões usadas na empilhadeira.

O terminal comum do cabo do transmissor de pressão foi ligado junto com o terminal comum da placa principal, o que reduziu o ruído e contribuiu na estabilização da leitura.

#### 3.1.2 Circuito Eletrônico Principal

O circuito eletrônico baseou-se nas características da tensão de alimentação da empilhadeira e nas características do transmissor de pressão e do

microcontrolador utilizados. Os diagramas esquemáticos e o leiaute da placa de circuito impresso foram desenvolvidos no *software Altium Designer* e estão apresentados no Apêndice A.

Como as empilhadeiras podem utilizar baterias de 12 V ou 48 V e a faixa da tensão de alimentação do transmissor de pressão é de 9 a 30 V, optou-se por utilizar a tensão de alimentação de 12 V para o transmissor de pressão. Como a tensão da bateria da empilhadeira pode ser de 48 V, foi projetado um circuito regulador de tensão de 48 V para 12 V.

Para a alimentação dos demais componentes e circuitos foi utilizado um regulador chaveado de 12 V para 5 V e um regulador linear para obter a tensão de 3,3 V a partir da tensão de 5 V. A tensão de 3,3 V é muito utilizada para alimentação de microcontroladores, memórias e circuitos integrados diversos.

O sinal de saída do transmissor de pressão é lido diretamente em um pino do conversor analógico do microcontrolador. Como esse sinal de saída é em corrente (em mA) foi utilizado um resistor para obter-se o valor de tensão apropriado para uso com o microcontrolador. O resistor de 150  $\Omega$  garante que a faixa de 4 a 20 mA do sinal de saída do transmissor de pressão corresponda a faixa de tensão de 600 mV a 3 V, adequada para a aplicação com o microcontrolador.

A maior parte dos componentes da interface com o usuário como LEDs, *display* LCD e botões, foram conectados diretamente nos pinos de entrada e saída (I/O) do microcontrolador, sendo necessário a utilização de resistores de *pull-up* conectados entre os pinos e a tensão de alimentação de 5 V.

O acionamento do relé é feito pelo chaveamento em cascata de dois transístores de junção, conectando o pino de I/O do microcontrolador ao resistor de base do transístor. Quando ocorre o acionamento, os contatos CM e NA do relé se interligam, alimentando uma sirene ou um alarme conectado.

### 3.1.3 Placa Principal

A placa principal utilizada para o desenvolvimento do sistema da balança foi projetada considerando as características do módulo de processamento escolhido. O tamanho da placa, o custo e o *know-how* para o desenvolvimento também influenciaram na decisão de escolha dos componentes eletrônicos utilizados.

A placa principal foi projetada no *software* Altium Designer. Na Figura 16 é apresentado o roteamento da placa e na Figura 17, a visão da placa desenvolvida.

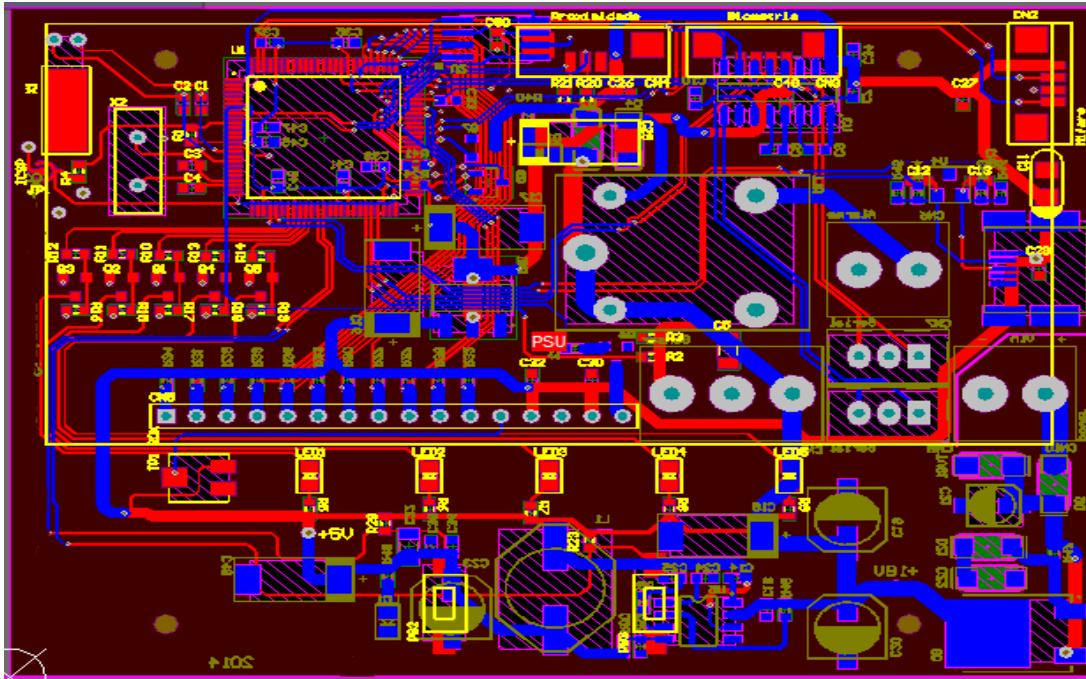
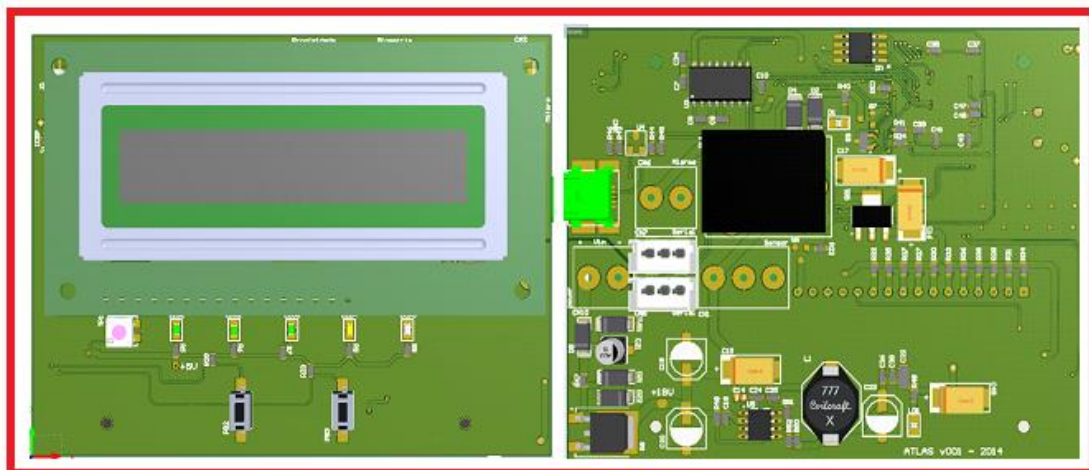


Figura 16 – Roteamento da placa principal da balança.  
Fonte: Autoria própria.



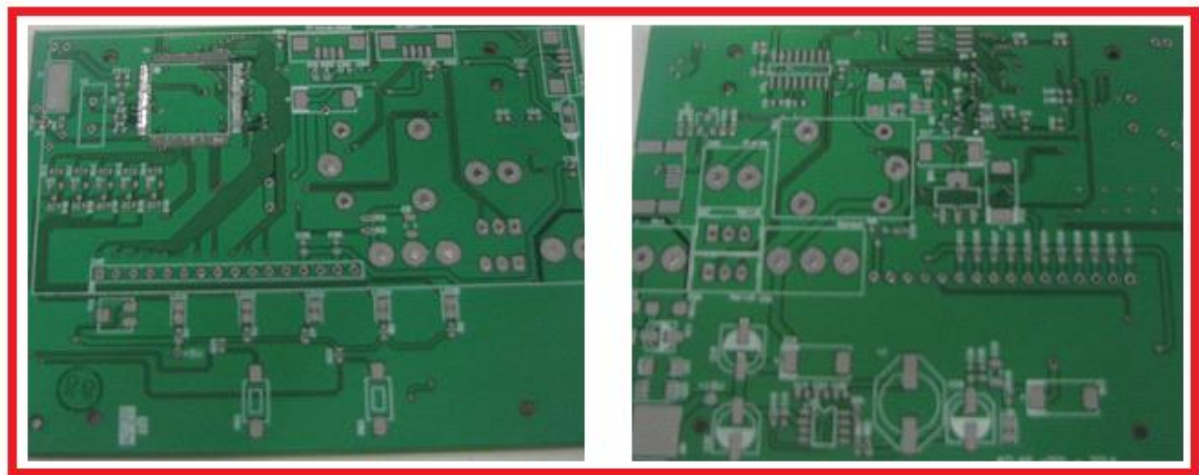
(a) parte frontal  
Figura 17 – Placa principal.  
Fonte: Autoria própria.

(b) parte posterior

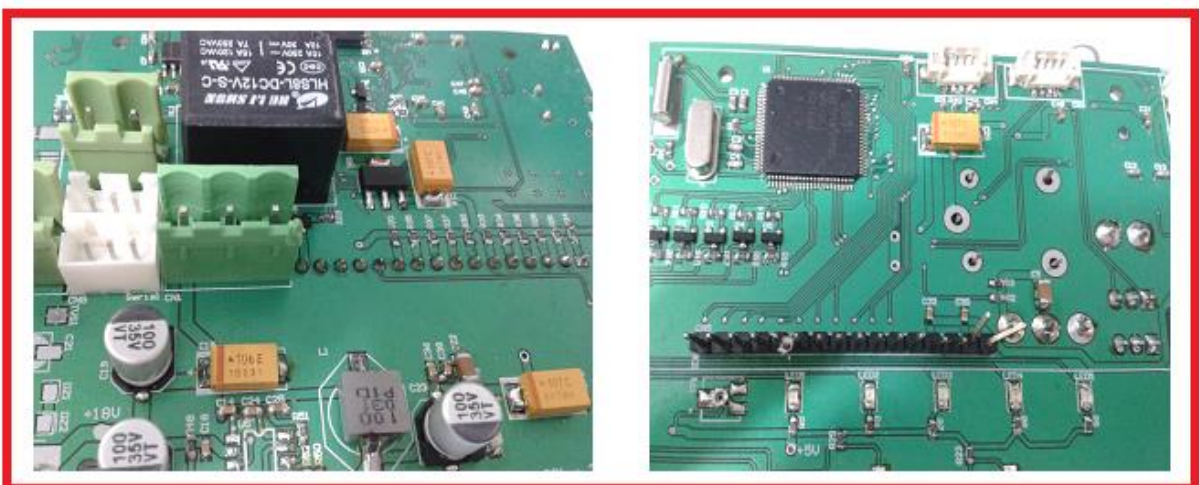
Para o desenvolvimento do sistema da balança foram utilizados alguns recursos disponíveis no microcontrolador, como a interface serial assíncrona (USART0) para *debug* e a atualização de *firmware* através da interface ISP (*In System Serial Programming*), a interface de conversão de sinal analógico em digital

conhecida como ADC0, a interface SPI para comunicação serial com a memória *flash* e os demais pinos como entradas e saídas (I/O) digitais para controle do *display* LCD, para uso pelas teclas de operação e seleção nos menus do sistema e uso como saída no acionamento do relé para conexão de um alarme sonoro ou visual e LEDs indicativos.

A Figura 18 apresenta a placa principal sem os componentes e a Figura 19, com os componentes montados. O roteamento da placa principal e a montagem do protótipo exigiram cuidados para redução de falhas no *hardware*. A placa foi testada nessa etapa, funcionando corretamente.



**Figura 18 – Placa principal sem os componentes.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 19 – Placa principal com os componentes.**  
Fonte: Autoria própria.



Na placa principal foram utilizados componentes na tecnologia *Surface Mounted Devices* (SMD) e *Pin Through Hole* (PTH). Os componentes principais são o processador principal baseado na arquitetura ARM; o circuito integrado MAX232, para possibilitar a comunicação com a interface RS232; os circuitos reguladores de tensão, para as tensões de 3,3 V e 5 V; memória *flash* para armazenamento dos parâmetros de configuração do sistema; relé de 12 V para acionamento do alarme; conjunto de LEDs nas cores verde, amarelo e vermelho para indicação do peso; cristais osciladores para uso com o microcontrolador, além de componentes menores como resistores e capacitores.

### 3.2 FIRMWARE

O *firmware* do sistema da balança foi escrito em linguagem C, na interface de desenvolvimento disponibilizada pelo fabricante do processador.

No código foram implementadas todas as funcionalidades para tratamento do sinal de saída do transmissor de pressão, controle das interfaces da placa principal, *debug* do *hardware* projetado, menus e interface com o usuário. A Figura 20 apresenta o fluxograma resumido do funcionamento para o sistema da balança.

Como pode ser visualizado no fluxograma da Figura 20, o sistema desenvolvido para a balança opera dentro de um *loop* principal. Quando a empilhadeira é ligada através da chave de ignição todo o sistema é energizado pela tensão da bateria.

O sistema eletrônico é inicializado pelo processador através da chamada à sua função principal. Logo após a chamada às funções de inicialização dos módulos do processador é executada uma função que atualiza as variáveis do programa com os últimos valores salvos, em uma memória *flash*, quando houve o último desligamento da empilhadeira.

Na primeira vez que o sistema é utilizado são carregados os parâmetros com seus valores padrão. Fazem parte do conjunto de parâmetros do sistema: peso mínimo, peso máximo, fator de funcionamento, unidade e status do alarme.

No *loop* principal do programa, existe a chamada a uma função que realiza a leitura contínua do sinal do transmissor de pressão. A cada 1.000 leituras acumuladas calcula-se o valor médio dessas leituras. Esse valor é convertido para

outro valor definido pela equação da curva de funcionamento e, posteriormente, para uma unidade de medida, previamente configurada. No Apêndice B são apresentadas duas funções principais do código. A Figura 21 apresenta um trecho da função principal do sistema da balança.

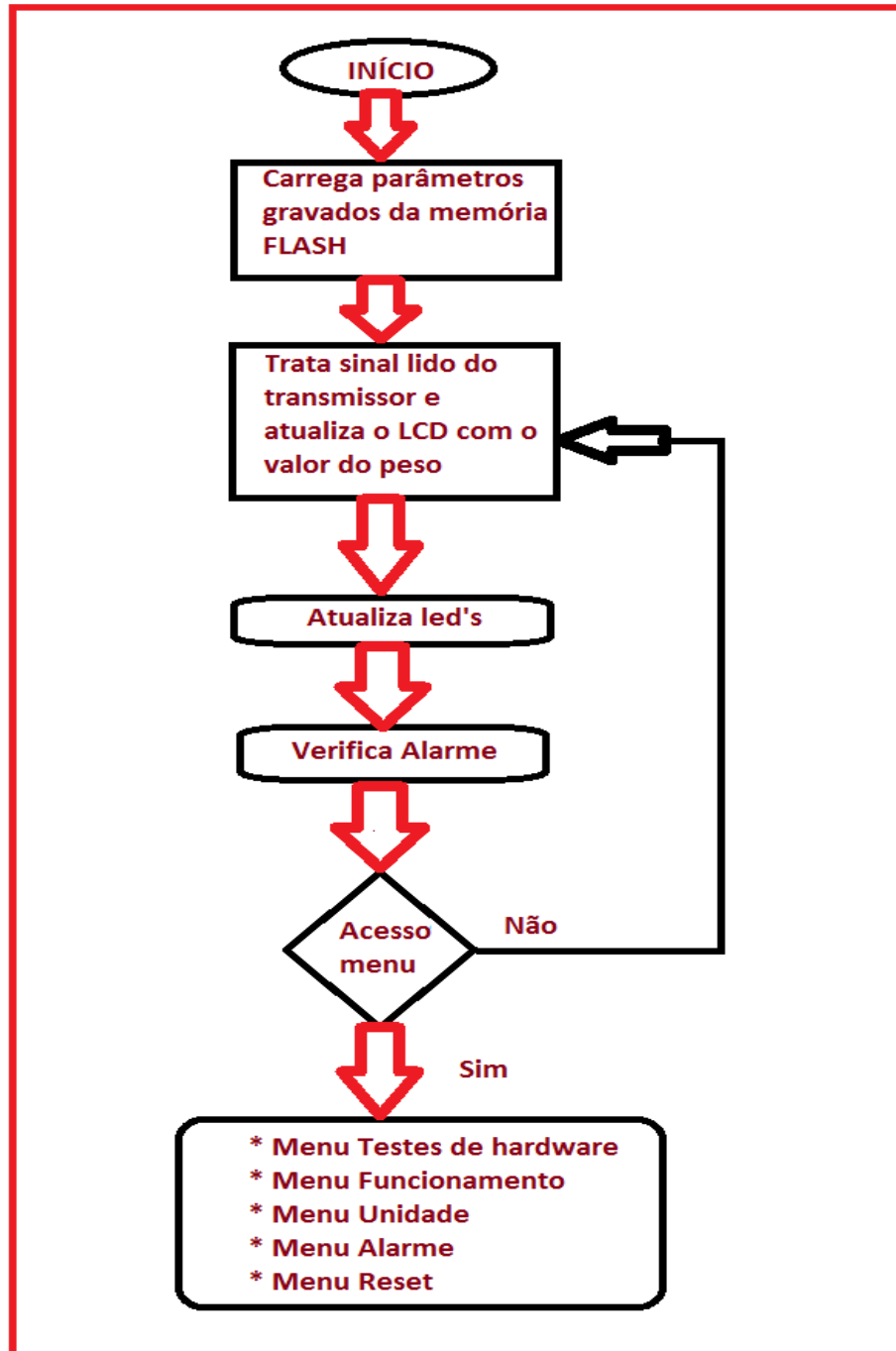


Figura 20 – Fluxograma do funcionamento do sistema da balança.  
Fonte: Autoria própria.

```

int main(void) {
    AD_ini();           //Inicializa pino como AD
    initLED();         // Inicializa LEDs
    initKeypad();      // Inicializa teclado
    Timer0_Wait(250);  // Aguarda 250 ms antes de começar

    initLCD();         // Inicializa display
    initBuzzer();      // Inicializa alarme (buzzer)
    initUART0(1);     // Inicializa Serial para Debug

    initSSP0();        // inicia SPI
    testaFlash();      // Verifica comunicação com a mem Flash

    initSysTick();     //Inicializa hora do sistema

    bip(1000);
    clearLCD();
    showINISISTEMA(); //Msg inicial "Inicia balança"
    Timer0_Wait(2000); // Aguarda 250 ms antes de começar

    char key;
    uint32_t valor = 0;
    loadVariables(); //carrega as variáveis da memória
    while(1){         //loop principal do sistema
        valor = 0;
        if(key = getKey()){ //função que le botão
            switch(key){
                case 'J':
                    menu(); // Acesso aos menus
                    break;
            }
        }
        valor = WeightContinuousOperation2(); //Leio o transmissor
        atualizaLeds(valor); //Atualiza barra de leds
        verificaAlarme(valor); //Atualiza alarme se necessário
    }
}

```

**Figura 21 – Função principal do sistema da balança.**  
**Fonte: Autoria própria.**

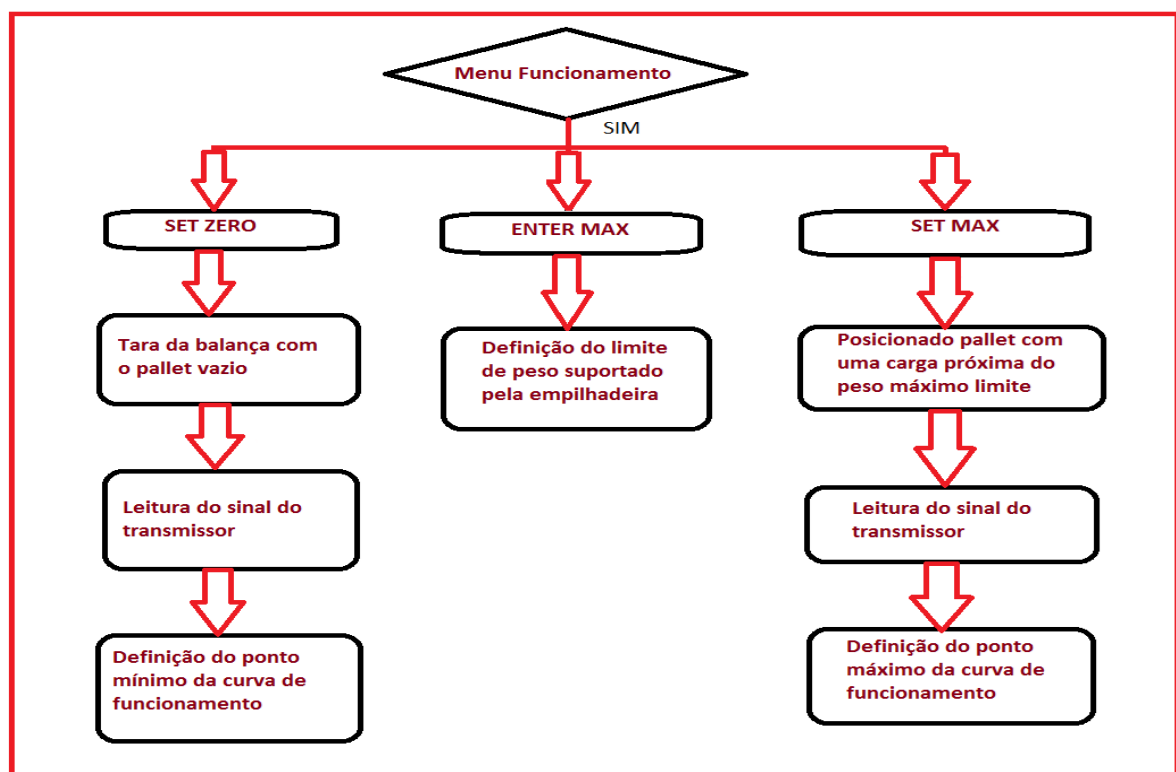
O operador da balança pode visualizar o valor do peso da carga na segunda linha do *display* LCD, além de ter uma estimativa a partir de uma barra de LEDs que indica o *status* em percentual da carga máxima (cada LED corresponde a 20%). Na configuração inicial do equipamento pode-se habilitar ou não o funcionamento do alarme.

Quando o operador acessa o menu principal, o sistema da balança assume outros modos de operação, conforme Figura 20:

- O “Menu Testes de Hardware” foi desenvolvido para permitir ao operador testar todas as interfaces de entrada e saída do dispositivo eletrônico.

- No “Menu Unidade” o operador pode seleccionar a unidade desejada de visualização do peso no *display* com as opções quilogramas, toneladas ou libras.
- No “Menu Alarme” o operador tem a opção de habilitar ou desabilitar o funcionamento do alarme.
- No “Menu Funcionamento” as variáveis para o cálculo da curva de funcionamento do transmissor são atualizadas.

Ao sair dos menus de configuração os valores das variáveis modificados são salvos na memória *flash*. A Figura 22 apresenta o fluxograma da operação para o ajuste da curva de funcionamento do transmissor, que corresponde ao “Menu Funcionamento”.



**Figura 22 – Fluxograma do processo de ajuste da curva de funcionamento do transmissor.**  
 Fonte: Autoria própria.

No “Menu Funcionamento”, Figura 22, são definidos o ponto mínimo e máximo de ajuste da curva de funcionamento. O item “Set Zero” serve para ajuste do ponto mínimo e o item “Set MAX” para ajuste do ponto máximo. A seleção do item “Enter MAX” corresponde à definição pelo operador do valor máximo de peso

que a empilhadeira pode transportar. Para o ajuste de funcionamento é necessário que o operador tenha uma carga em um *pallet* com um peso aproximado a esse valor.

A partir da curva de funcionamento e da equação (1) foi definida uma função para calcular o coeficiente angular para essa curva. Esse valor é utilizado como fator de multiplicação para o valor lido pelo conversor analógico/digital (AD) do sinal de saída do transmissor. A equação (2) apresenta o cálculo do peso já considerando o fator de multiplicação, a leitura do AD e o peso máximo definido.

$$\text{Weight} = \text{fator} \times ((\text{leitura\_AD} \times \text{MáxWeight})/4095) \quad (2)$$

onde: Weight – valor do peso obtido do cálculo.

fator – variável multiplicadora de ajuste da curva de funcionamento.

leitura\_AD – valor obtido do conversor analógico/digital do sinal de saída do transmissor de pressão.

MaxWeight – peso máximo estipulado para a curva de funcionamento do equipamento.

4095 – corresponde a resolução do AD de 12 bits ( $2^{12} - 1$ ).

A Figura 23 apresenta a função que calcula o peso da carga baseado na curva de funcionamento definida. Essa função recebe o valor lido no pino de AD já convertido num número e calcula o respectivo peso em quilograma.

```
void weight_Kg(uint32_t valor, uint32_t *value_kg){
    serSend("WeightKg",8);
    (*value_kg) = (FATOR_CAL_ATUAL * (((valor-ZERO_ATUAL)*MAX_ATUAL)/4095));
    //Valor convertido para KG
}
```

**Figura 23 – Função para calcular o peso da carga.**  
**Fonte: Autoria própria.**

#### 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Completadas as fases de desenvolvimento de *hardware*, de *firmware* e de montagem do protótipo, passou-se para as etapas de instalação e testes de funcionamento do sistema. A Figura 24 apresenta a aparência final do primeiro protótipo funcional, após implementadas melhorias de *hardware* e mecânicas.



**Figura 24 – Protótipo funcional da balança.**  
Fonte: A autoria própria.

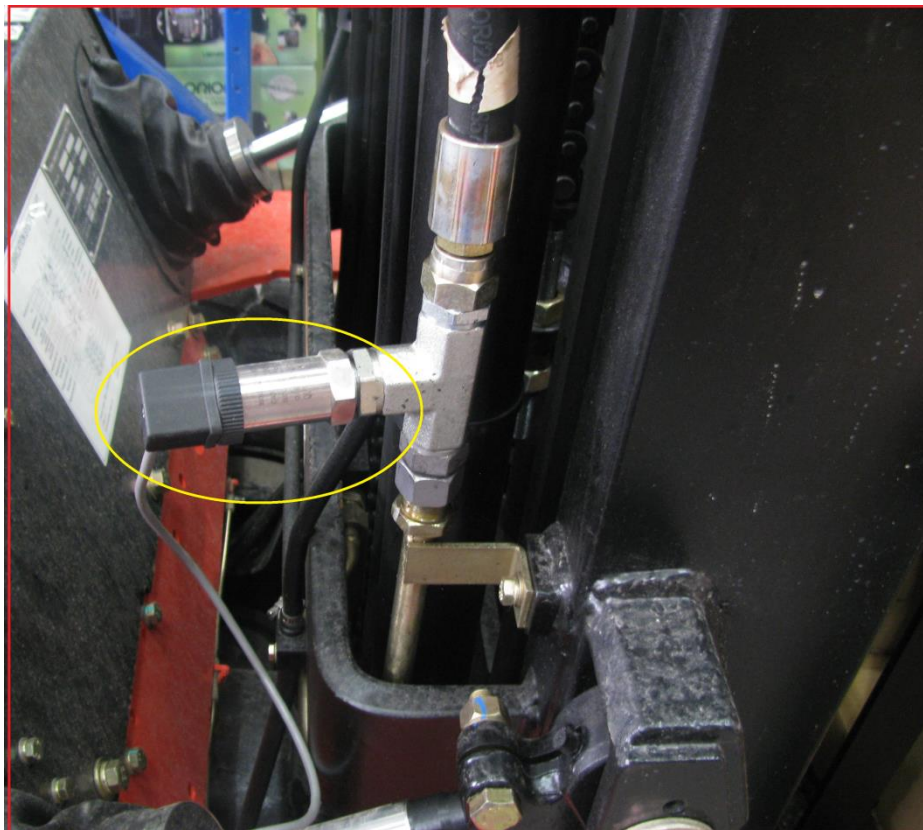
O protótipo do sistema da balança foi instalado em uma empilhadeira com capacidade de carga de 2.500 kg, como é mostrado na Figura 25. Esse veículo foi disponibilizado para testes pelo setor de logística que o utiliza para descarga de materiais. A empilhadeira possui bateria de 12 V. A ligação da alimentação para o módulo foi baseada nos padrões automotivos com a conexão partindo da chave de ignição do veículo.

As Figuras 26 e 27 apresentam a instalação física do transmissor de pressão no sistema hidráulico da empilhadeira. Quando as alavancas para o controle dos garfos são acionadas no painel de controle da empilhadeira, o sistema sofre a pressão exercida pelo óleo e, quanto maior o peso da carga, maior a pressão sentida pelo transmissor que corresponde a um valor de corrente na sua saída.

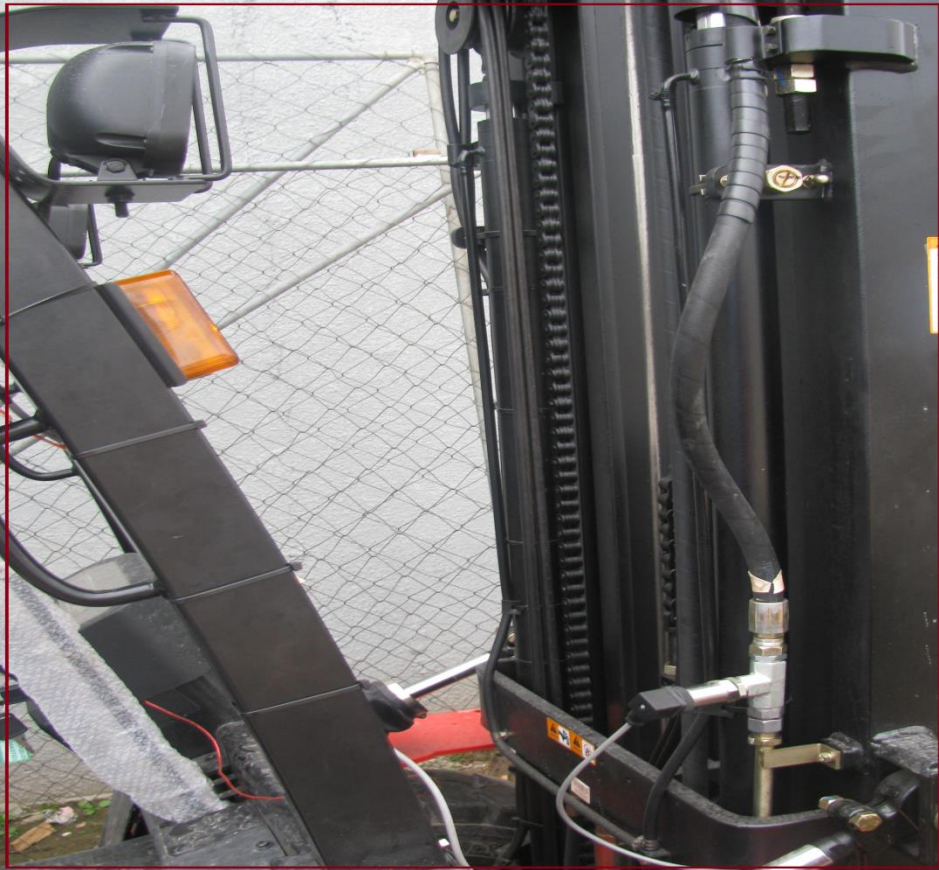
A Figura 28 ilustra o esquema de ligação elétrico do sistema da balança na empilhadeira. Os fios do transmissor de pressão são conectados ao módulo central do sistema da balança, sendo que os três fios incluem a alimentação.



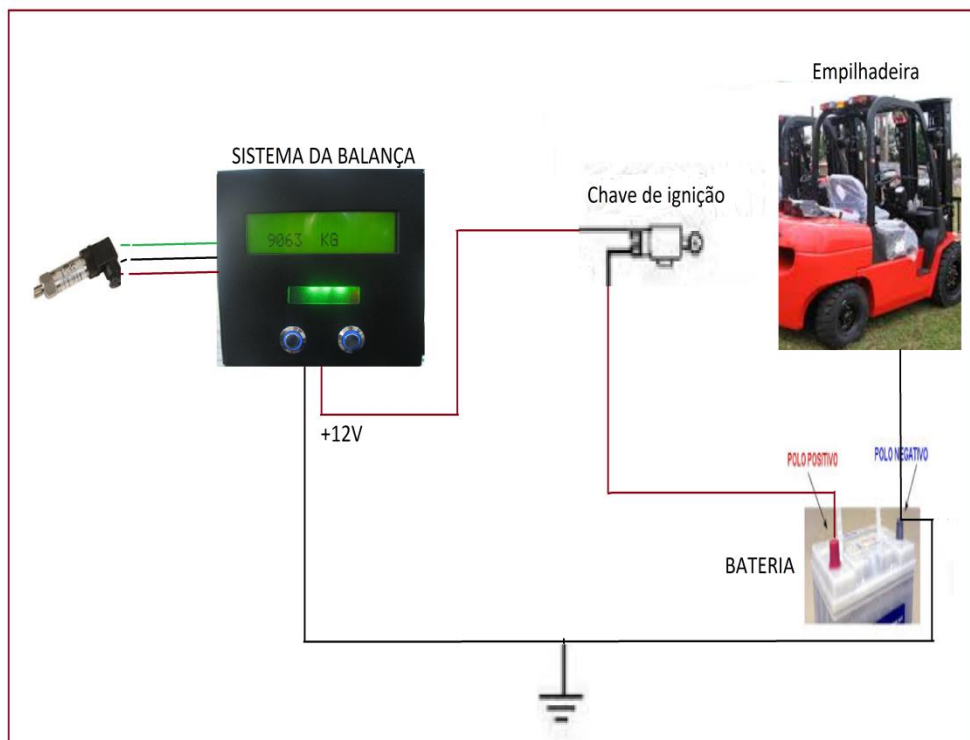
**Figura 25 – Montagem da central eletrônica da balança na empilhadeira.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 26 – Instalação do transmissor de pressão.**  
Fonte: Autoria própria.



**Figura 27 – Sistema hidráulico da empilhadeira.**  
 Fonte: Autoria própria.



**Figura 28 – Instalação elétrica da balança na empilhadeira.**  
 Fonte: Autoria própria.



Após a instalação do sistema da balança na empilhadeira, o próximo passo foi realizar um procedimento de testes. Para os casos de testes iniciais do sistema adotou-se como carga máxima para ajuste da curva de funcionamento do transmissor de pressão uma carga no valor de 1.000 Kg. Para o ajuste é necessário utilizar um peso de teste com valor aproximado ao peso máximo para o qual se deseja utilizar a empilhadeira.

No Quadro 1 são apresentados os passos desenvolvidos para o ajuste da curva de funcionamento da balança.

Passo	
<b>Definindo o ponto superior teórico da curva de funcionamento</b>	
1	No “Menu Funcionamento” acessar “Enter Max”
2	Informar o valor máximo da carga a ser ajustada (em kg) desde que menor que 10.000 kg.
<b>Selecionando o ponto zero da curva de funcionamento</b>	
3	Posicionar o <i>pallet</i> vazio na empilhadeira.
4	No “Menu Funcionamento” acessar a opção “Leitura do sinal do transmissor”.
5	Subir e descer os garfos da empilhadeira quatro vezes e acompanhar a leitura.
6	Erguer os garfos da empilhadeira a pouca altura do chão e aguardar por cinco minutos até estabilizar.
7	No “Menu Funcionamento” acessar “Set Zero”.
8	Aguardar a estabilização do valor lido e pressionar o segundo botão para salvar o valor zero.
<b>Selecionando o ponto superior real da curva de funcionamento</b>	
9	Colocar sobre o <i>pallet</i> uma carga com peso próximo do máximo teórico estipulado.
10	No “Menu Funcionamento” acessar a opção “Leitura do sinal do transmissor”.
11	Subir e descer os garfos da empilhadeira com a carga quatro vezes e acompanhar a leitura.
12	Erguer os garfos da empilhadeira a pouca altura do chão e aguardar por cinco minutos até a leitura estabilizar.
13	No “Menu Funcionamento” acessar “Set Max”.
14	Aguardar a estabilização do valor lido e pressionar o segundo botão para salvar o valor máximo.

**Quadro 1 – Procedimentos de ajuste da curva de funcionamento.**

**Fonte: Autoria própria.**

As Figuras 29 e 30 ilustram alguns dos passos do processo de ajuste da balança para validação do funcionamento. Foram utilizadas caixas com peso aproximado de 27,5 kg cada uma para alcançar o valor de 1.000 kg necessário para a realização dos testes. A empresa não possui um peso padrão ou uma balança de referência para serem utilizados nos testes.



(a)

(b)

**Figura 29 – (a) Garfos da empilhadeira e (b) Pallet.**

Fonte: Autoria própria.



**Figura 30 – Ensaios de funcionamento do sistema da balança.**

Fonte: Autoria própria.

Foram realizados três ensaios em dias diferentes e dentro da faixa de trabalho estipulada, de zero ao peso máximo para a carga, foi estabelecidas a medição em cinco pontos.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de ajuste da curva de funcionamento. O valor da coluna “Valor Calculado” foi obtido com caixas de peso de 27,5 kg, visto a empresa não possuir balança de referência para informação do valor exato de cada caixa. Na coluna “Erro (kg)” o valor do erro foi calculado utilizando o “Valor Indicado” menos o “Valor Calculado”.

Nos três dias dos ensaios, para a maior carga de teste, a Tabela 3 apresenta a medição com o menor erro, correspondente a 13 kg (1,4%), e a Tabela 2 apresenta a medição com o maior erro, de 25 kg (2,5%). Para uma empilhadeira que pode transportar até 2.500 kg, essa diferença no peso da carga não apresenta risco.

**Tabela 1: Ensaio de funcionamento 1.**

<b>Valor Calculado (kg)</b>	<b>Valor Indicado (kg)</b>	<b>Erro (kg)</b>	<b>Erro (%)</b>
137,5	121,0	-16,5	12,0
275,0	257,0	-18,0	6,5
550,0	531,0	-19,0	3,4
825,0	808,0	-17,0	2,1
1.100,0	1.085,0	-15,0	1,4

**Fonte: Aatoria própria.**

**Tabela 2: Ensaio de funcionamento 2.**

<b>Valor Calculado (kg)</b>	<b>Valor Indicado (kg)</b>	<b>Erro (kg)</b>	<b>Erro (%)</b>
192,5	190,0	-2,5	1,3
412,5	415,0	2,5	0,6
605,0	616,0	11,0	1,8
797,5	829,0	31,5	3,9
990,0	1.015,0	25,0	2,5

**Fonte: Aatoria própria.**

**Tabela 3: Ensaio de funcionamento 3.**

<b>Valor Calculado (kg)</b>	<b>Valor Indicado (kg)</b>	<b>Erro (kg)</b>	<b>Erro(%)</b>
137,5	128,0	-9,5	6,9
275,0	274,0	-1,0	0,4
550,0	550,0	0,0	0,0
825,0	828,0	3,0	0,4
935,0	948,0	13,0	1,4

**Fonte: Aatoria própria.**

Nos ensaios apresentados nas Tabelas 1 e 3 o erro percentual foi maior no ponto inferior da curva, com a menor carga de teste. Esse erro não é significativo pois o foco do trabalho é a medição do peso da carga próximo ao valor máximo.

Os fatores que influenciaram nos erros obtidos nos ensaios foram: a utilização de caixas com peso aproximado de 27,5 kg, a falta de uma balança de precisão para a medição do peso correto das caixas, a falta de um peso padrão para definição do ponto superior da curva de funcionamento e o baixo tempo de operação da empilhadeira durante os ensaios sendo que não ocorreu variação significativa da temperatura do óleo do sistema hidráulico.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema da balança foi desenvolvido com o propósito de tornar mais seguro e confiável o manuseio de cargas com as empilhadeiras.

Inicialmente foram identificadas as características técnicas da empilhadeira. Na sequência foi realizado o estudo das características necessárias para as partes eletrônicas do sistema e das interfaces envolvidas.

No sistema o sinal analógico do transmissor de pressão foi diretamente ligado no pino do conversor analógico/digital (AD) do microcontrolador não necessitando do tratamento desse sinal.

Em paralelo ao desenvolvimento do *hardware* para o sistema da balança foi desenvolvido o *firmware* em linguagem de programação C. O programa desenvolvido funcionou corretamente durante os testes realizados.

Durante o desenvolvimento do projeto obteve-se êxito na etapa de interfaceamento com o usuário, pois funcionaram corretamente as entradas pelos botões e o módulo do *display* LCD. Apesar de ter sido implementado, o acionamento por relé não foi testado durante os ensaios e passará por testes posteriormente.

Os ensaios com o sistema montado na empilhadeira utilizaram carga máxima de 1.100 kg. O maior erro percentual apresentado pela balança nos ensaios foi de 12%, correspondente a 16,5 kg, sendo pouco significativo pois esse erro foi obtido com a carga em um valor bem abaixo da carga máxima definida. O maior erro encontrado nos ensaios foi de 31,5 kg, correspondente a 3,9% da carga em teste.

A maior importância do erro durante a utilização da empilhadeira ocorre para cargas com valor próximo da carga máxima definida. Os ensaios mostraram que para esses casos o menor erro obtido foi de 13 kg (1,4%) e o maior erro foi de 25 kg (2,5%), ainda pouco significativo quando analisada a carga máxima de teste e para uma empilhadeira que pode transportar até 2.500 kg.

Os ensaios foram realizados com caixas com peso aproximado de 27,5 kg. A empresa não possui pesos padrão ou uma balança de precisão para a medição do peso correto das caixas utilizadas nos ensaios. Desta forma, esse foi o principal fator relacionado com os erros de medição obtidos. Como um melhoramento proposto está a aquisição de uma balança de precisão para a medição do peso das caixas usadas para ajuste da curva de funcionamento do sistema.

Os objetivos propostos neste trabalho foram atingidos, o sistema desenvolvido apresentou o funcionamento esperado quando instalado na empilhadeira e não ocorreram problemas de funcionamento no *hardware* ou no *firmware*.

## REFERÊNCIAS

ARM. **Cortex – M3. Technical reference manual**. 2005. Disponível em: <<http://www.arm.com>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

ARM. **Córtex – M3 processor**. 2014. Disponível em: <<http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m3.php>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

BARBACENA, Ilton L. FLEURY, Claudio Afonso. **Display LCD**. 1996. Disponível em: <<ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/ea079/complementos/Lcd.pdf>>. Acesso em: 09 ago. 2014.

BRANCO, Renata. **Como as empilhadeiras funcionam**. Manutenção e Suprimentos. 2011. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4796-como-as-empilhadeiras-funcionam/>>. Acesso em: 02 ago. 2014.

BROCK, Mitchell. **Como identificar as partes de uma empilhadeira?** eHow Brasil. Disponível em: <[http://www.ehow.com.br/identificar-partes-empilhadeira-info\\_60199](http://www.ehow.com.br/identificar-partes-empilhadeira-info_60199)>. Acesso em: 02 ago. 2014.

CASSIOLATO, Cesar. **Alguns conceitos importantes em transmissores de pressão**. Artigos Técnicos SMAR, 2010. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index21.html>>. Acesso em: 29 jul. 2014.

CROWN. **Estado de automação das empilhadeiras: Já chegamos lá?** Crown Equipment Corporation, Washington, EUA, 2013. Disponível em: <<http://www.crownbrazil.com/pdfs/Forklift-Automation-BR.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2014.

CUNHA, Livia. **Relés e Contadores**. Portal o Setor Elétrico, Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/169-reles-e-contadores.html>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

DISPEL. **Dispel empilhadeiras**. 2005. Disponível em: <<http://www.dispelempilhadeiras.com.br/up/RSeries1-3.5T.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

FINDER. **O que você precisa saber sobre os relés.** Finder Brasil, Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.findernet.com/en/node/47466>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

GONÇALVES, Wanderley Gornelli. **Empilhadeiras** - Fabricantes: 2013 foi um ano de crescimento. Para 2014, o otimismo do setor continua. Portal LOGWEB, 2013. Disponível em: <<http://www.logweb.com.br/novo/conteudo/noticia/33778/empilhadeiras--fabricantes-2013-foi-um-ano-de-crescimento-para-2014-o-otimismo-do-setor-continua/>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

GOUVEIA, Roberta. **Como calcular a capacidade de uma empilhadeira.** Mecânica Industrial, 2011. Disponível em: <<http://www.mecanicaindustrial.com.br/conteudo/11-como-calcular-a-capacidade-de-uma-empilhadeira/>>. Acesso em: 09 ago. 2014.

KINGSTON. Kingston Technology Corporation. **Guia de memória Flash.** USA, 2012. Disponível em: <[http://media.kingston.com/pdfs/FlashMemGuide\\_BR.pdf](http://media.kingston.com/pdfs/FlashMemGuide_BR.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2014.

MAESTAS, Elliot Rubio. **A empilhadeira elétrica como solução logística.** Artigonal. 2011. Disponível em: <<http://www.artigonal.com/pequenas-empresas-artigos/a-empilhadeira-eletrica-como-solucao-logistica-4167611.html>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

METALTEX. **Chave táctil SMD. SMD tact switch: A05S-1.6.** Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/downloads/A05S.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

MONACO, Rafael. **Investimentos em automação potencializam competitividade da indústria.** CNI Imprensa, 2013. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/imprensa/2013/05/1,12994/investimentos-em-automacao-potencializam-competitividade-da-industria.html>>. Acesso em: 19 mai. 2014.

ODA, M. **Logística sustentável:** contribuição a processos de gestão. INTERFACEHS, Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente. V.4. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/29/59>>. Acesso em: 06 set. 2014.

PAREDE, Ismael M. GOMES, Luiz. E. G. **Eletrônica: automação industrial**. V6. Fundação Padre Anchieta, 2011. Disponível em: <[http://www.albertoferes.com.br/menu\\_esquerdo/downloads/mecatronica/dorival/AUTOMACAO%20INDUSTRIAL.pdf](http://www.albertoferes.com.br/menu_esquerdo/downloads/mecatronica/dorival/AUTOMACAO%20INDUSTRIAL.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2014.

PATSKO, Luis Fernando. **Tutorial: aplicações, funcionamento e utilização de sensores**. Maxwell Bohr, 2006. Disponível em: <[http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000\\_kdr5000/tutorial\\_eletronica\\_-\\_aplicacoes\\_e\\_funcionamento\\_de\\_sensores.pdf](http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2014.

RENAULT, Luiz. **Mini-curso prático de microcontroladores ARM Cortex-M3 STM32**. IME ROBÓTICA. 2014. Disponível em: <<http://ead.ime.eb.br/course/view.php?id=156>>. Acesso em: 21 set. 2014.

SABER. **Circuitos reguladores de tensão**. Revista Saber Eletrônica. Ano 44. n. 423. Abril 2008. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1617-circuitos-reguladores-de-tensao>>. Acesso em: 13 set. 2014.

SABER. **10 Circuitos de reguladores chaveados**. Revista Saber Eletrônica. Ano 43. n. 412. Maio 2007. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1242-10-circuitos-de-reguladores-chaveados>>. Acesso em: 13 set. 2014

SABER. **A evolução dos relés**. Revista Saber Eletrônica. Ano 45. n.134. Fev. 2009. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/educacao/2000-a-evolucao-dos-reles>>. Acesso em: 06 set. 2014.

SPEARS, David. **Power alternatives for forklift**. YALE, 2011. Disponível em: <<http://cdn.promatshow.com/seminars/assets/303.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

WENDLING, Marcelo. **CI reguladores de tensão**. UNESP, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/2---ci-reguladores-de-tensao---v1.0.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2014.



## APÊNDICE A – DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DOS CIRCUITOS ELETRÔNICOS DO SISTEMA DA BALANÇA

Nesse apêndice são apresentados os diagramas esquemáticos dos circuitos eletrônicos do sistema da balança, desenvolvidos no *software* Altium Designer.

A Figura 31 apresenta o circuito de alimentação da placa principal.

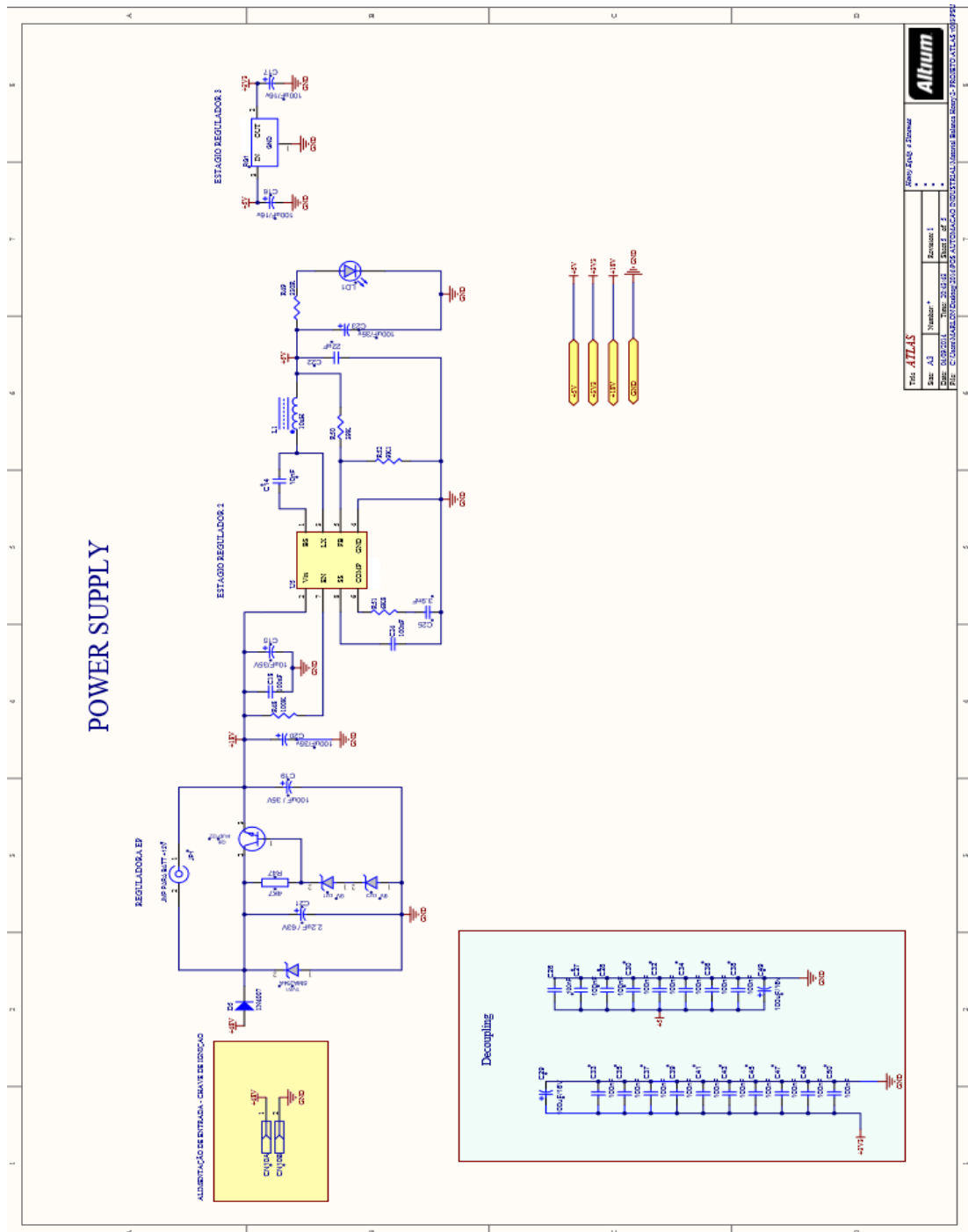


Figura 31 – Circuito de alimentação da placa principal.  
 Fonte: Autoria própria.

A Figura 32 apresenta o circuito do microcontrolador e as conexões com os periféricos. A Figura 33 apresenta os circuitos das interfaces homem-máquina (IHM) da placa principal. A Figura 34 apresenta as interfaces de entrada e de saída disponíveis na placa principal.

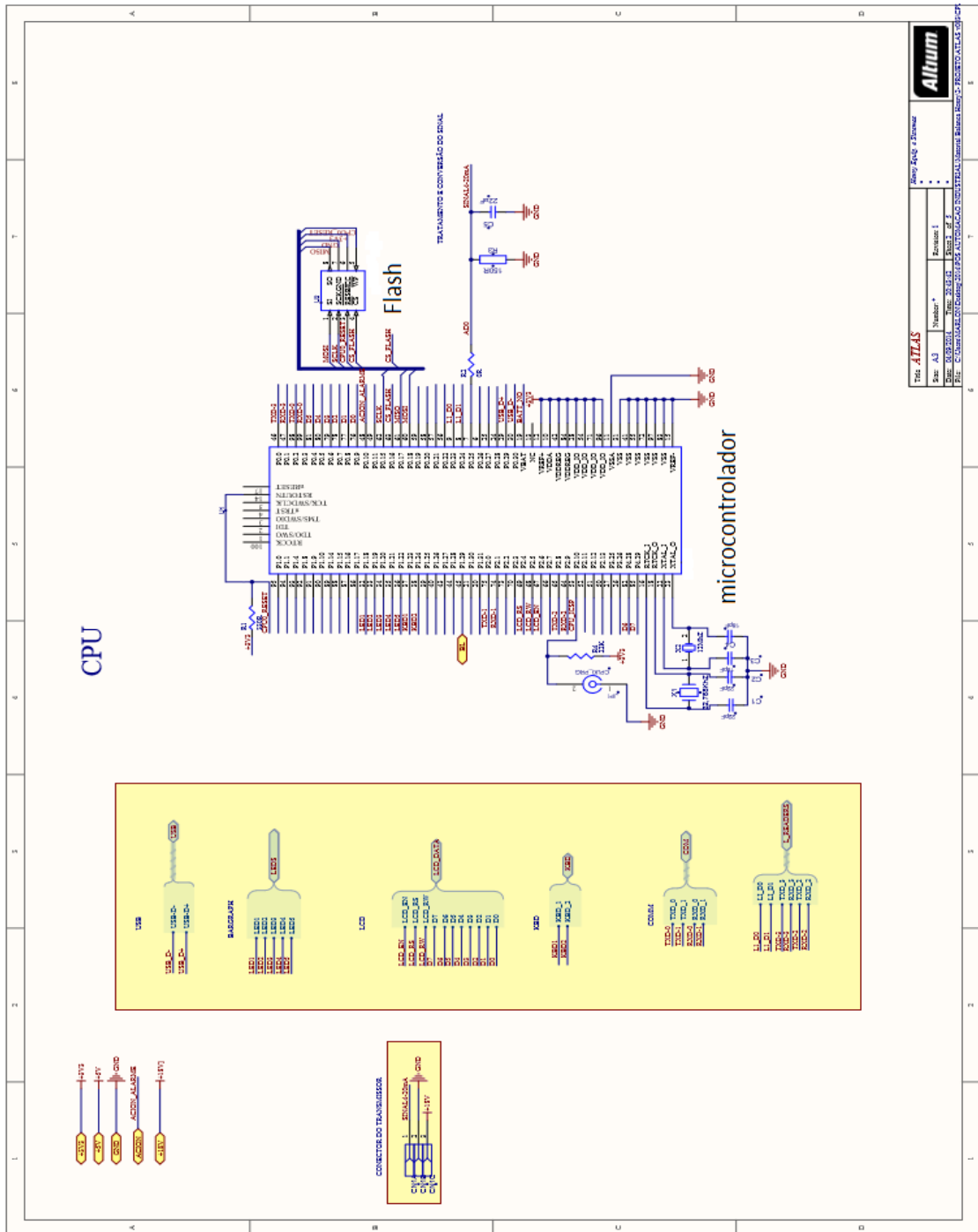


Figura 32 – Circuito do microcontrolador da placa principal.  
Fonte: Autoria própria.

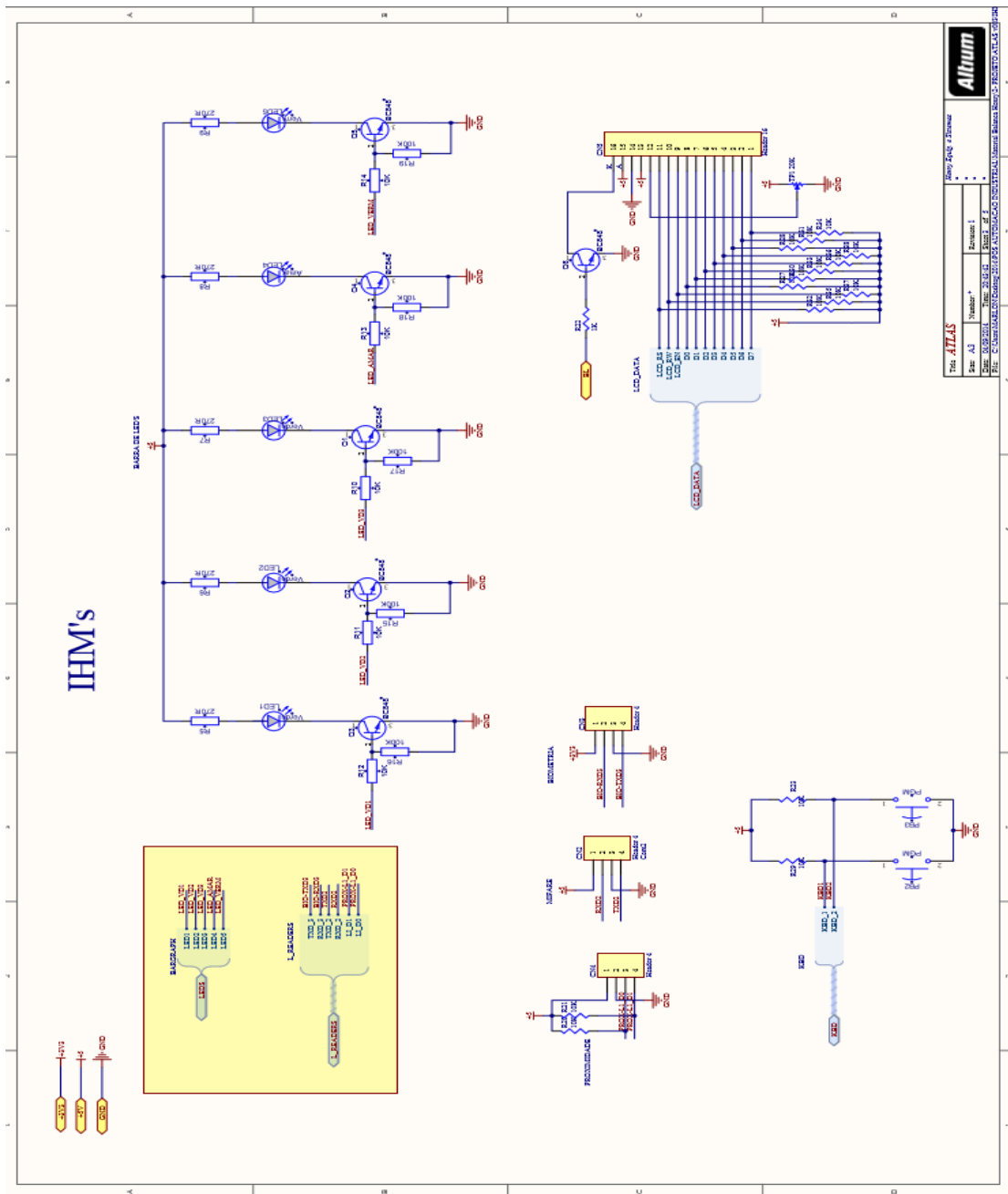


Figura 33 – Circuitos das interfaces homem-máquina da placa principal.  
 Fonte: Autoria própria.

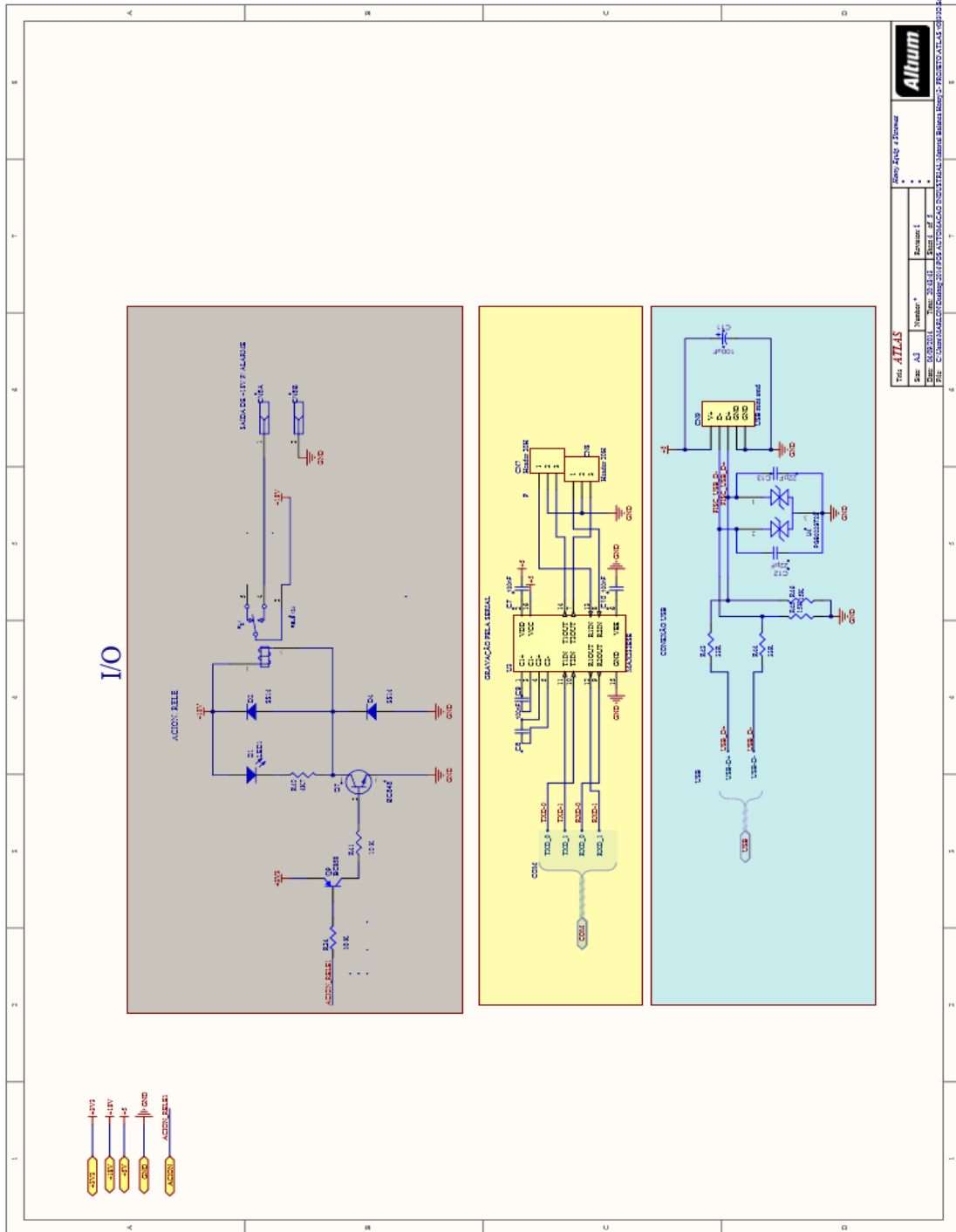


Figura 34 – Circuitos de entrada e saída da placa principal.  
 Fonte: Autoria própria.

## APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE

Nesse apêndice é apresentado um trecho do código fonte implementado. A Figura 35 apresenta as funções principais do sistema da balança.

```

uint32_t WeightContinuousOperation2(){
    serSend("WeightOperation",15);
    uint32_t weight_value = 0; //Variavel peso obtido do ADC
    uint32_t value_kg = 0; //Variavel peso em kg
    weight_value = getValueADC(); //pega valor uint32 do ADC
    if(weight_value < ZERO_ATUAL){
        weight_value = ZERO_ATUAL; //validação de peso sempre maior que
zero
    }
    weight_Kg(weight_value,&value_kg); //Converte para Kg

    if(UNIT_ATUAL == 1){ //Confere a unidade do peso
        showWeight_Kg(value_kg);
    }else{
        if(UNIT_ATUAL == 2){
            showWeight_ton(value_kg);
        }else{
            showWeight_lb(value_kg);
        }
    }
    return value_kg;
}

uint32_t getValueADC(){
    PINSEL_CFG_Type PinCfg; //Variavel de configuração dos pinos.

    uint8_t buffer[2]={0x39, 0x39};
    uint32_t value=0, cont=0;
    uint32_t tmp = 0;

    /*Configurando AD0.0 em P0.25*/
    PinCfg.Funcnum = 1;
    PinCfg.OpenDrain = 0;
    PinCfg.Pinmode = 0;
    PinCfg.Pinum = 25;
    PinCfg.Portnum = 0;
    PINSEL_ConfigPin(&PinCfg);

    ADC_Init(ADC,200000); //Define taxa de amostragem de 1KHZ
    ADC_IntConfig(ADC,0,ENABLE);
    ADC_ChannelCmd(ADC,2,1);

    while(1){
        buffer[0]=0; //zera o buffer
        buffer[1]=0; //zera o buffer

        ADC_StartCmd(ADC,ADC_START_NOW); //Realiza 1 conversão
        while (!(ADC_ChannelGetStatus(ADC,2,ADC_DATA_DONE)));
        value = value + ADC_ChannelGetData(ADC,2);
        cont++;

        for(tmp = 0; tmp < 1000000; tmp++); //Aguarda por um tempo

        if(cont == 1000){
            break;
        }
    }

    value = value/cont; //faz a média após 1000 amostras
}

```

**Figura 35 – Principais funções do código implementado.**  
**Fonte: Autoria própria.**