



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

IARA BARBOSA DE SOUSA

**SISTEMA DE CONTROLE SEMIAUTOMÁTICO PARA NAVEGAÇÃO DE CARROS
ELÉTRICOS REBOCADORES**

SOBRAL

2019

IARA BARBOSA DE SOUSA

SISTEMA DE CONTROLE SEMIAUTOMÁTICO PARA NAVEGAÇÃO DE CARROS
ELÉTRICOS REBOCADORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Campus de Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Rômulo Nunes de Carvalho Almeida

Coorientador: Eng. João Lucas de Oliveira Torres

SOBRAL

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S696s Sousa, Iara.
SISTEMA DE CONTROLE SEMIAUTOMÁTICO PARA NAVEGAÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS
REBOCADORES / Iara Sousa. – 2019.
90 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,
Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2019.

Orientação: Prof. Me. Rômulo Nunes de Carvalho Almeida.
Coorientação: Prof. João Lucas de Oliveira Torres.

1. Automação. 2. Manufatura Enxuta. 3. Rebocadores. I. Título.

CDD 621.3

IARA BARBOSA DE SOUSA

SISTEMA DE CONTROLE SEMIAUTOMÁTICO PARA NAVEGAÇÃO DE CARROS
ELÉTRICOS REBOCADORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
do Campus de Sobral da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Rômulo Nunes de Carvalho
Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. João Lucas de Oliveira Torres (Coorientador)

Prof. Me. Andre dos Santos Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, por todo apoio e compreensão durante esses 5 anos. Mãe e pai, sou grata à vocês pelo apoio em minha trajetória durante o curso, principalmente por nunca terem interferido na minha autonomia na tomada de decisões.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Me. Rômulo Nunes de Carvalho Almeida, que além de me orientar em meu trabalho de conclusão de curso teve um papel fundamental na minha formação acadêmica.

Ao Eng. João Lucas de Oliveira Torres, pela imensa contribuição como coorientador em meu projeto de conclusão de curso.

Aos meus colegas de curso, Yolanda Lorena, Leonardo Pires, Clévia Alves, Gustavo Melo, Francinildo Costa, Lucas Taylan, Renato Fonteles, Saulo Queiroz, Danillo Fernandes e Diego Maradona por todo apoio prestado ao longo da minha trajetória.

Aos meus colegas de trabalho por toda ajuda no desenvolvimento do projeto, em especial à Juliana Mourão, por ter esclarecido todas minhas dúvidas.

Ao meu colega de trabalho Gerson, por toda ajuda prestada referentes às modificações elétricas do sistema.

Ao meu namorado e colega de curso, Heitor Vasconcelos por me acalmar nos momentos de angústia e também por ser meu parceiro nos estudos.

Aos meus pais, irmãos e sobrinhos, que sempre compreenderam minhas ausências nos principais momentos em família.

Agradeço a todos os professores que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica, principalmente àqueles que se dedicam a transformar a experiência da graduação uma etapa menos massante, compartilhando conhecimento e experiência profissionais e pessoais.

“O fracasso é uma possibilidade por aqui. Se as coisas não estão fracassando, você não está inovando o suficiente.”

(Elon Musk)

RESUMO

Este trabalho descreve as etapas de implementação do projeto de automação do transporte de carros elétricos rebocadores, aplicado no processo de recolhimento de materiais produzidos com intuito de diminuir os desperdícios de movimentos realizados pelos operadores. Portanto, aliou-se a filosofia da produção enxuta com a automação industrial, de modo a melhorar e otimizar o processo produtivo. Foi desenvolvido um sistema de controle assistido para a operação de carros elétricos rebocadores eliminando a repetição de movimentos voltados ao embarque e desembarque do veículo. A modificação consistiu em adicionar um sistema para correção da direção elétrica, acionamento do motor de tração remotamente e integração do sistema de segurança, para evitar colisões e garantir a segurança das pessoas no ambiente. Com base sistema de rebocadores do cenário anterior e o rebocador modificado, iniciaram-se as comparações de soluções, que resultou em uma economia de pelo menos 10% do tempo de operação.

Palavras-chave: Manufatura Enxuta. Automação. Rebocadores.

ABSTRACT

This work describes the implementation stages of the carriage automation project, applied in the process of receiving materials in order to reduce execution costs. Therefore, a production philosophy for industrial automation, in order to improve and optimize the production process. An assisted control system was developed for an electric locking operation of tugboats, eliminating the pressure of loading and unloading of the vehicle. The change consisted in adding a system for the indication of automatic movement, the drive of the traction motor and the integration of the safety system, to ensure the safety of people in the environment. Based on the tug system of the previous scenario and the modified tugboat, they were initiated as comparisons of solutions, which result in an economy of at least 10% of the operating time.

Keywords: Lean Manufacturing. Automation. Tugboats.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – SIMATIC S71200	22
Figura 2 – Arduíno Nano	23
Figura 3 – Relé eletromecânico	25
Figura 4 – Contator	26
Figura 5 – Sensor Fotoelétrico	27
Figura 6 – Princípio de Funcionamento do <i>Scanner</i> de Segurança	28
Figura 7 – S300	29
Figura 8 – Módulo de radiofrequência com 4 saídas a relé	31
Figura 9 – Modulação <i>Amplitude Shift Keying</i> (ASK)	33
Figura 10 – Modulador de Amplitude Digital	34
Figura 11 – Motor de Corrente contínua de ímã permanente	35
Figura 12 – Modificações mecânicas do sistema de direção	40
Figura 13 – Instalação do motor para o acionamento do freio	41
Figura 14 – Local de instalação do Sensor de Segurança	42
Figura 15 – Componentes do diagrama elétrico	43
Figura 16 – Projeção 3D da placa de circuito impresso	44
Figura 17 – Placa de circuito impresso confeccionada	45
Figura 18 – Surgimento do efeito bounce na saída do módulo rf	46
Figura 19 – Saída do módulo rf após instalação do filtro capacitivo	47
Figura 20 – Configuração das áreas de varredura do <i>scanner</i>	48
Figura 21 – Local de instalação do sensor indutivo	49
Figura 22 – Elementos do sistema	50
Figura 23 – Fixação dos sensores fotoelétricos	51
Figura 24 – Diagrama de distância entre o veículo e o solo	52
Figura 25 – Distância de parada do veículo	53
Figura 26 – Plano de varredura do <i>scanner</i> de segurança	56
Figura 27 – Fluxograma simplificado do programa	57
Figura 28 – Entrada Digital Controle Remoto	59
Figura 29 – Entrada Digital Controle Remoto após a implementação do filtro	59
Figura 30 – Comparação de tempo entre os processos	61
Figura 31 – Leitura <i>online</i> da área de varredura do <i>scanner</i> de Segurança	62

Figura 32 – Faixa de navegação do rebocador 64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASK	<i>Amplitude Shift Keying</i>
CC	Corrente Contínua
CDS	<i>Configuration e Diagnostic Software</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	Radiofrequência
UCP	<i>Unidade Central de Processamento</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

E_a	Tensão gerada na armadura
K_a	Constante geométrica
Φ_d	Fluxo líquido ao longo do enrolamento de campo
ω_m	Velocidade de operação da máquina
K_m	Constante de conjugado do motor
V_t	Tensão aplicada no motor
I_a	Corrente de armadura
R_a	Resistência de armadura
T_{mec}	Conjugado da máquina
S_L	Comprimento da zona de proteção
S_A	Distância de parada do veículo
Z_G	Acréscimo de segurança geral do S300 Mini
Z_R	Acréscimo devido aos erros de medição relacionados a reflexão
Z_F	Acréscimo devido à proximidade do veículo ao solo
Z_B	Acréscimo para a redução do desempenho de frenagem do veículo
S_{Br}	Distância de frenagem do veículo
S_{Anf}	Distância percorrida durante o tempo de reposta do controlador do veículo
S_{Ans}	Distância percorrida durante o tempo de resposta do scanner de segurança a laser
T_s	Tempo de resposta do scanner de segurança
V_{max}	Velocidade máxima de operação do veículo
F_B	Largura do veículo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Descrição do processo	17
1.2	Objetivos gerais	18
1.3	Objetivos específicos	18
1.4	Estrutura do trabalho	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Automação	20
2.2	Controladores lógicos programáveis	20
2.2.1	<i>Unidade central de processamento (UCP)</i>	20
2.2.2	<i>Módulos de entrada e saída</i>	21
2.2.3	<i>Base</i>	21
2.2.4	<i>Funcionamento</i>	21
2.2.5	<i>Controlador lógico programável SIMATIC S71200</i>	21
2.3	Arduíno	22
2.3.1	<i>Arduíno nano</i>	23
2.3.1.1	<i>Alimentação</i>	23
2.3.1.2	<i>Entradas e saídas digitais</i>	24
2.3.1.3	<i>Entradas e saídas analógicas</i>	24
2.4	Relés	25
2.4.1	<i>Relés eletromecânicos</i>	25
2.4.2	<i>Relé de estado sólido</i>	26
2.5	Contatores	26
2.6	Sensores fotoelétricos	27
2.6.1	<i>Sistema de detecção difuso</i>	27
2.6.2	<i>Sistema de detecção de barreira</i>	27
2.6.3	<i>Sistema de detecção retro reflexivo</i>	28
2.7	Scanner de segurança	28
2.7.1	<i>Scanner de segurança S300 Mini Standart</i>	29
2.8	Módulo de radiofrequência	30
2.8.1	<i>Módulo RF 433,92 MHz</i>	30

2.8.2	Modulação	32
2.8.2.1	<i>Modulação ASK</i>	33
2.8.3	Motor de corrente contínua de imã permanente	34
3	DESENVOLVIMENTO	37
3.1	Procedimentos metodológicos	37
3.1.1	<i>Elaboração do CANVAS</i>	37
3.1.2	<i>Etapa de estudo e análise do funcionamento do carro elétrico rebocador</i> .	37
3.1.3	<i>Definição dos requisitos e elaboração da especificação funcional</i>	37
3.1.4	<i>Desenvolvimento do sistema de controle semiautomático</i>	37
3.1.5	<i>Implementação do projeto piloto na fábrica para a fase de testes</i>	38
3.1.6	<i>Análise dos resultados e sugestões de melhorias para implantação e repli-</i> <i>cação do projeto</i>	38
3.2	Desenvolvimento do sistema de controle semiautomático	38
3.2.1	Adaptações mecânicas	39
3.2.1.1	<i>Adaptações no sistema da direção</i>	39
3.2.1.2	<i>Modificações acionamento do freio</i>	40
3.2.1.3	<i>Local de instalação do scanner de segurança</i>	41
3.2.2	Descrição da construção do protótipo inicial	42
3.2.2.1	<i>Sistema embarcado</i>	42
3.2.2.2	<i>Ensaio do protótipo inicial</i>	45
3.2.3	Proposta inicial do sistema de navegação	47
3.2.4	Descrição da solução final	49
3.2.4.1	<i>Sistema de navegação</i>	50
3.2.4.2	<i>Scanner de segurança</i>	51
3.2.4.2.1	<i>Comprimento do campo de proteção</i>	52
3.2.4.2.2	<i>Largura do campo de proteção</i>	54
3.2.4.2.3	<i>Configuração do scanner de segurança</i>	55
3.2.5	Programação do Controlador Lógico Programável (CLP)	56
3.2.6	Análise do funcionamento da proposta final	58
4	RESULTADOS	60
4.1	Comparação entre os processos	60
4.1.1	Análise da atuação do scanner de segurança	61

4.2	Análise do comportamento do motor da direção	62
4.3	Análise do comportamento do sistema de navegação	63
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICES	67
	APÊNDICE A – Programação do Controlador Lógico programável	67
	APÊNDICE B – Configuração do Scanner de Segurança	73
	APÊNDICE C – Esquema Elétrico	80
	ANEXOS	87
	ANEXO A – CANVAS do projeto	87
	ANEXO B – Tempos do processo	89

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 50, o mercado começou a adotar a manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*) como filosofia de produção. Baseado no Sistema Toyota de Produção, esta surgiu no Japão no período pós-guerra e encontra-se hoje difundido em vários setores da economia. (BEISE, 2016)

O *Lean* pode ser definido como a eliminação dos processos que no fluxo de produção não agregam valor ao cliente ou ao produto. Esses processos são caracterizados como desperdício. (LEVITT, 2008)

A Manufatura Enxuta busca identificar e minimizar ou eliminar as fontes de desperdícios de movimentação, transporte, tempo de espera, produtos defeituosos, estoque, superprodução, processamento e conhecimento. (OHNO, 1997).

O desperdício de movimento pode ser caracterizado como movimentos inúteis realizados pelos funcionários. Já o desperdício de transporte caracteriza-se pelo desperdício que é gerado pela movimentação por longas distâncias de peças, componentes, matéria-prima ou produtos acabados dentro da fábrica ou entre fábricas. (BEISE, 2016). É indispensável que constantemente haja a análise e sejam feitas as modificações necessárias no processo para que se minimizem esses tipos de perda. Mesmo que nem sempre seja possível eliminá-las completamente, os esforços devem ser contínuos para a redução de custos e melhora na produtividade.

Por outro lado, o processo de automatização industrial, além de substituir o trabalho humano em atividades demasiadamente repetitivas e inseguras, traz melhorias na qualidade do processo, reduz custos, otimiza espaços e tempo de realização de atividades. (PAREDE, 2011)

A competitividade em um mercado cada vez mais acirrado, tornou a automação fundamental, e, em muitas vezes, indispensável. Para que uma companhia se destaque no mercado, é preciso que esta seja capaz de identificar e corrigir erros em seu processo de produção, além de realizar processos que resultem em uma melhor qualidade e eficiência. No setor calçadista essa realidade não é diferente, sendo, portanto, condição vital para obtenção dos melhores resultados na execução dos processos, de maneira mais rápida, eficiente e angariando o menor número de recursos possíveis.

O presente projeto foi desenvolvido e implantado em uma empresa do setor calçadista, que constantemente implementa soluções automatizadas afim de aumentar a qualidade da execução dos processos e redução de custos.

1.1 Descrição do processo

Baseado no exposto dentro de desperdícios de manufatura e transporte de materiais, identificou-se o desperdício de movimentação no processo de transporte interno de componentes da fábrica, que através da aplicação do processo de automatização, poderia ser otimizado.

O transporte interno analisado no projeto é realizado com o uso de carros elétricos rebocadores. Estes, são veículos destinados ao transporte de materiais em áreas internas de circulação ou acesso e trânsito controlado em pavimento tipo asfalto e concreto, sem imperfeições, valetas, buracos ou passagem em nível. O veículo dispõe de engate para carretas, no qual são acoplados os vagões para o transporte de materiais na fábrica. O modelo utilizado pela empresa é o RB30 do fabricante JACTO.

Ao todo, a empresa dispõe de 31 carros rebocadores. O veículo tem capacidade para transportar até quatro vagões, sendo estes projetados para acomodar de 24 a 28 caixas, portanto o rebocador pode ser utilizado para transportar até 96 caixas carregadas de componentes.

Na operação, o operador além de manobrar o veículo, também é o responsável por fazer o recolhimento das caixas de componentes ao longo do corredor das máquinas (injetoras, esteiras de montagem, etc). Para completar o percurso, é necessário que os vagões dispostos no veículo sejam abastecidos por completo. O operador consegue atingir esse objetivo percorrendo o corredor. Sendo necessário que o operador desembarque do veículo, recolha o material e retorne ao veículo novamente para avançar à próxima máquina.

No processo atual, o operador precisa subir e descer do veículo repetidas vezes durante o recolhimento dos materiais. Essa ação, além de ser extremamente desgastante, diminui a produtividade da atividade. Portanto, como forma de minimizar o desperdício de movimentação realizado pelo operador, propôs-se um sistema semiautomático para auxiliá-lo nesta tarefa.

Para validação dos resultados, será analisado o processo de transporte dos componentes produzidos ao setor de expedição da fábrica. Mensurando dessa forma, o tempo utilizado em cada uma das operações, bem como o percentual de tempo gasto no embarque e desembarque do veículo.

Ao analisar o processo por completo, verificou-se que o movimento que o colaborador realiza de embarque e desembarque do veículo, enquadra-se na categoria de desperdício de movimentação, não agregando valor algum à função do operador e ao processo de produção. Além disso, esse movimento repetido acaba por causar fadiga ao operador ao longo do seu turno de trabalho.

Através desse trabalho, serão analisados os procedimentos adotados para tornar o processo de transporte de carga dos carros rebocadores semiautomático. Para isso foram necessários a adaptação do projeto elétrico, configurações de sensores, configuração do *scanner* de segurança, programação do Controlador Lógico Programável (CLP), além de realizar o processo de integração de todos os componentes a fim de obter o funcionamento adequado do projeto, segundo as especificações descritas neste trabalho. Além disso, antes da implementação do projeto piloto na fábrica, realizou-se a etapa de testes para validação dos requisitos de segurança e demais funções do novo sistema.

Além do processo de automação, também se configura como figura central deste trabalho as etapas constituintes do desenvolvimento e integração do projeto à indústria. Verificando desta forma, os processos que contemplam toda sua estruturação, como o gerenciamento estratégico do projeto, através da ferramenta denominada CANVAS, determinação dos dispositivos a serem utilizados, execução das atividades planejadas e atividades não planejadas, bem como a análise final de sua implementação na fábrica para a fase de testes e validação do produto.

1.2 Objetivos gerais

Desenvolver e implantar um sistema de controle assistido na operação dos carros elétricos rebocadores inseridos no processo de transporte de componentes, com o objetivo de reduzir o desperdício de tempo de embarque e desembarque do veículo realizado pelo operador.

1.3 Objetivos específicos

Almeja-se que esse projeto de automação alcance os objetivos listados abaixo:

- Minimizar o tempo da atividade;
- Aumentar a produtividade do operador;
- Melhorar a ergonomia;
- Aumentar a segurança do processo.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho constitui-se dos seguintes capítulos:

Capítulo 1: Introdução

Trata-se do capítulo que contém a definição e delimitação do tema abordado, descri-

vendo os objetivos a serem alcançados e a justificativa de implementação do projeto. Além disso, destaca-se alguns pontos da bibliografia referente à Manufatura Enxuta.

Capítulo 2: Fundamentação Teórica

Trata-se da especificação de funcionamento dos componentes utilizados, destacando suas principais características que justificaram sua utilização para a implementação do presente projeto.

Capítulo 3: Desenvolvimento

Consiste na etapa de descrição do procedimento adotado para realização do projeto, destacando as principais etapas.

Trata-se da etapa de desenvolvimento do sistema de automação industrial a partir do uso dos componentes necessários para atender os requisitos funcionais, realizando a integração de todos estes através da programação do controlador lógico programável.

Capítulo 4: Análise de Resultados

Analisou-se, nessa etapa, os resultados obtidos a partir da implantação do projeto piloto na fábrica, aferindo os tempos que o operador utilizou para a realização de cada etapa, bem como a economia de tempo realizada com relação ao embarque e desembarque do veículo.

Capítulo 5: Conclusão e Trabalhos Futuros

Consiste na análise final do projeto, sugerindo as melhorias e trabalhos futuros para que a implantação do projeto na empresa seja de forma efetiva.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Automação

Automação é o processo de substituição do trabalho humano ou animal por máquina. É a operação automática ou por controle remoto de máquina ou de sistema, com a mínima interferência do operador humano. Pode ser definida ainda como o controle de processos automáticos. Automático significa ter um mecanismo de atuação própria, que faça uma ação requerida em tempo determinado ou em resposta a certas condições. (RIBEIRO, 2003)

Por meio da tecnologia adotada para automatizar as atividades, são desenvolvidos indicadores que auxiliam seu monitoramento, agilizando-os e removendo movimentos inseguros, que trazem riscos ergonômicos e ainda geram custos dispensáveis. Portanto, o processo de automação, descentraliza tarefas, melhora as condições de trabalho, elimina riscos, reduz custos e aumenta a produtividade do colaborador.

2.2 Controladores lógicos programáveis

Os controladores lógicos programáveis foram desenvolvidos a partir de uma necessidade da indústria automobilística. Em virtude das dificuldades encontradas para a mudança de funcionalidades dos sistemas de controle com o uso do controle a relé, implementou-se o primeiro CLP. Desde então, sua flexibilidade, garantiu a este componente um papel de destaque nas soluções de automação industrial existentes. (PAREDE, 2011)

O CLP pode ser caracterizado como um computador voltado para aplicação industrial que contém instruções para implementação de funções de controle (sequência lógica, temporização, etc.). Pode também realizar operações matemáticas, manipulação de dados, comunicação em rede, sendo amplamente utilizado em sistemas automatizados. (GEORGINI, 2012)

Os principais elementos que o compõem são: *Unidade Central de Processamento* (UCP), módulos de entrada e saída, fonte de alimentação e base. A seguir será descrito a composição destes componentes. (GEORGINI, 2012)

2.2.1 *Unidade central de processamento (UCP)*

Composta basicamente do processador, sistema de memória e circuitos auxiliares de controle.

2.2.2 Módulos de entrada e saída

Os módulos de entrada e saída correspondem aos sinais de entrada discretos, que são usualmente conhecidos como contatos normalmente abertos e fechados. Além disso, também engloba os sinais advindos de sensores analógicos que são lidos por sensores de temperatura, sinais de tensão, etc.

2.2.3 Base

Através da base, é possível realizar a conexão do CLP com demais componentes. Possui também o barramento de comunicação.

2.2.4 Funcionamento

Os estados das variáveis de entrada são armazenados na memória *Random Access Memory* (RAM) e posteriormente são processados pelo programa de usuário que levará à atualização das saídas do CLP de acordo com a lógica programada.

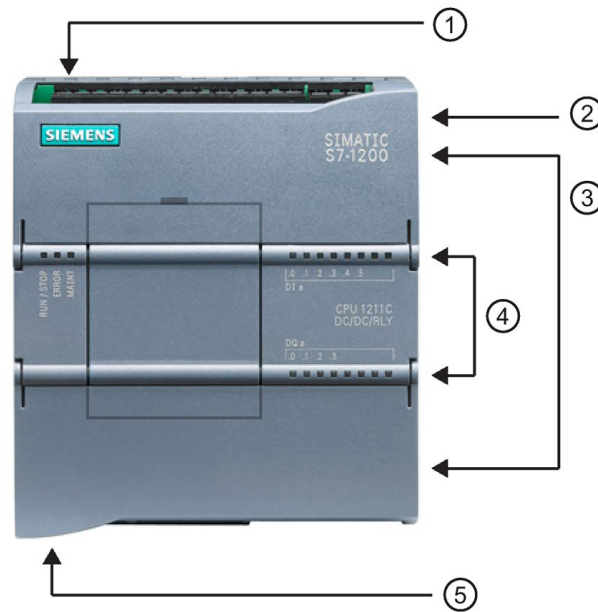
2.2.5 Controlador lógico programável SIMATIC S71200

O controlador da família SIMATIC S7-1200, destaca-se por ser compacto e versátil. Essa família de controladores possui quatro modelos: 1211C, 1212C, 1214C e 1215C. Além disso, dispõe da opção de conexão de módulos de expansão afim de atender às necessidades dos projetos. (SIEMENS, 2016)

A UCP do S71200 é composta por um microcontrolador, uma fonte de alimentação, circuitos de entrada e saída, porta PROFINET integrada, entradas e saídas para controle de movimento de alta velocidade e entradas analógicas que possibilitam a implementação de um controlador poderoso. (SIEMENS, 2016).

A composição básica do S71200, pode ser observada na Figura 1:

Figura 1 – SIMATIC S71200



Fonte: SIEMENS (2016).

- 1- Alimentação do CLP;
- 2- Entrada para cartão de memória;
- 3- Conectores removíveis de entradas e saídas do CLP;
- 4- LEDs de status dos módulos de entrada e saída;
- 5- Conexão PROFINET.

O *software* usado pela plataforma para desenvolver programas e monitorar variáveis é o *step7*. Através deste, é possível configurar os demais componentes que serão utilizados na aplicação. O *software* dispõe das três principais linguagens de programação para controladores lógicos programáveis: **LADDER**- Baseada em diagramas de circuitos; **FDB**- Baseada em símbolos lógicos gráficos e álgebra booleana e por último **SCL**- Linguagem de programação de alto nível que é baseada em linguagem textual. (SIEMENS, 2016)

Além disso, outro recurso que facilita a manipulação dos programas do CLP S71200 é o diagnóstico de informações em tempo real, ou seja, é possível acessar o CLP em operação através do monitoramento *on-line*, possibilitando dessa forma, verificar a atuação em tempo real dos componentes de entrada e saída do sistema de controle.

2.3 Arduíno

O Arduino é uma plataforma versátil de prototipagem eletrônica, de *hardware* e *software* aberto, de baixo custo e de uso simplificado. O *hardware* consiste em uma placa cujo

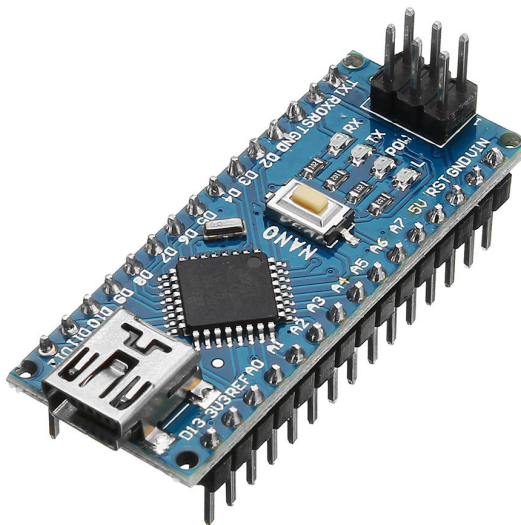
componente central é um microcontrolador pertencente a família ATmega. Já o *software*, consiste em uma linguagem de programação e um ambiente de desenvolvimento derivados do *Processing*. (VIEIRA, 2018)

O Arduino é uma plataforma de computação embarcada, ou seja, interage continuamente com o ambiente através do *software* e *hardware* para executar uma tarefa pré-estabelecida. (MCROBERTS, 2011)

2.3.1 *Arduíno nano*

O Arduino Nano foi desenvolvido no formato ideal para atuar em conjunto com uma *protoboard*. Apresenta como característica o tamanho reduzido que se torna um diferencial para aplicações que precisam ocupar pouco espaço.

Figura 2 – Arduíno Nano



Fonte: FlipFlop (2019).

Dentre suas características, destaca-se o tipo de conexão mini USB para conectar-se ao computador. O arduino nano é composto por 30 pinos, sendo que os seis pinos extras observados na Figura 2 são entradas *ICSP* (*In Circuit Serial Programming*).

2.3.1.1 *Alimentação*

O arduíno nano pode ser alimentado com tensões de 6V à 20V (Pinos Vin e GND) ou através de sua entrada mini USB. Pode-se utilizar fontes reguladas com saída de 5V. Dessa

forma, é possível alimentar o arduíno com 5V através dos pinos Vin e GND, mencionados acima.

2.3.1.2 Entradas e saídas digitais

Possui 14 pinos que podem ser utilizados como entrada e saída digitais (Pinos D0 ao D13). Estes pinos podem fornecer até 5V, e suportam uma corrente de no máximo 40 mA.

Os pinos D3, D5, D6, D9, D10, D11 podem ser utilizados como saída analógica PWM, e podem ser aplicados, por exemplo, para controlar a velocidade de motores.

Os pinos D0(Rx) e D1(Tx) são utilizados para transmissão e recepção de dados serial (TTL), ou seja, podemos conectar estes pinos aos módulos que utilizam esse tipo de comunicação. Os pinos D10 (SS), D11(MOSI) e D12(MISO) admitem a comunicação SPI (*Serial Peripheral Interface*).

O pino D13 está conectado ao LED disposto na placa, sendo então essencial para realizar testes iniciais de comunicação com a placa.

Os pinos D2 e D3 podem ser configurados para disparar uma interrupção por borda de descida, borda de subida, mudança no estado do pino ou sempre que o pino estiver em nível lógico baixo.

2.3.1.3 Entradas e saídas analógicas

Os pinos A0 ao A7, são pinos de entrada analógico que trabalham com uma resolução de 10 bits (1024 valores diferentes). Além disso, os pinos A0 ao A5, também podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais. No entanto, os pinos A6 e A7, não possuem essa funcionalidade.

O pino AREF é utilizado como tensão de referência para as entradas analógicas. Comumente a referência dessas entradas é de 0V a 5V, mas utilizando-se do pino AREF é possível diminuir esse *range* para ser de 0V a 3V, por exemplo.

Os pinos A4(SDA) e A5(SCL) permitem a comunicação I2C. É importante saber essa descrição detalhada dos pinos e seus respectivos métodos de comunicação compatíveis, pois muitos dispositivos funcionam apenas com um tipo de comunicação, sendo então necessário realizar as conexões nos pinos que são adequados para realizá-la.

2.4 Relés

Os relés são componentes elétricos com a função de manobrar saídas do circuito a partir do instante que determinadas condições do sistema são atingidas.

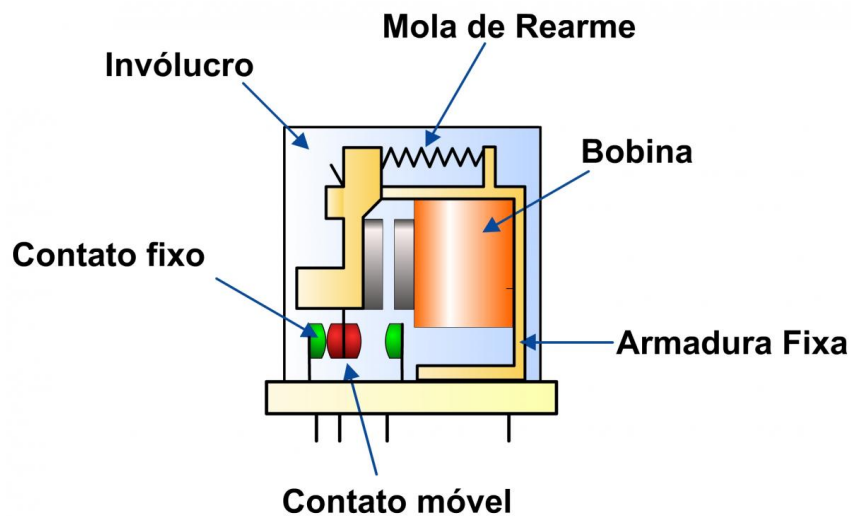
Os relés geralmente são aplicados para aumentar a capacidade dos contatos ou multiplicar as funções de chaveamento de um dispositivo piloto adicionando mais contatos ao circuito. No aspecto de entrada e saída, o relé pode ser considerado um amplificador e controlador. (RIBEIRO, 2003). Além disso, possuem um ganho de potência, uma vez que a potência de saída (acionamento da carga) é superior a potência de entrada (acionamento da bobina do relé).

Existem basicamente dois tipos de relés: o relé eletromecânico e o relé de estado sólido.

2.4.1 Relés eletromecânicos

O relé eletromecânico comuta seus contatos através de uma força eletromagnética que surge ao energizar sua bobina de acionamento. Com a condução de corrente elétrica pela bobina do relé, instaura-se um campo magnético no entorno do núcleo, fazendo com que a armadura móvel se desloque. Neste momento ocorrerá a comutação do estado dos seus contatos, sejam eles normalmente fechados ou abertos. Conforme indicado na Figura 3:

Figura 3 – Relé eletromecânico



Fonte: Electrical e-Library.com (2018)

2.4.2 Relé de estado sólido

O princípio de funcionamento é o mesmo do relé eletromecânico, no entanto seu acionamento ocorre de forma totalmente eletrônica, dessa forma este pode ser utilizado para altas frequências de comutação. Por eliminar a necessidade do movimento eletromecânico, o relé de estado sólido tem ação mais rápida, no entanto possui também um custo mais elevado quando comparado com relés eletromecânicos.

2.5 Contatores

Os contatores são dispositivos de manobra mecânica, acionados eletromagneticamente. Apresentam como característica a extinção de arco elétrico no ar, contudo sem afetar seu funcionamento. (SOUZA, 2009)

Seu princípio de funcionamento assemelha-se ao dos relés. Portanto, o contator consiste basicamente de um núcleo magnético (composto pela parte móvel e fixa, ou seja, o núcleo é bipartido) e uma bobina. Ao alimentar a bobina, o campo magnético criado concentra-se na parte fixa, que por sua vez atrai a parte móvel do dispositivo.

O contator dispõe de contatos de força e contatos auxiliares. Os contatos auxiliares são utilizados para suportar uma corrente mais baixa, enquanto que os contatos de força, também chamados de contatos de potência, são projetados para correntes elevadas. Essa característica indica que para acionamento de cargas com grande consumo de corrente, como motores, a conexão deve ser realizada nos contatos de potência.

Figura 4 – Contator



Fonte: Schneider (2019)

2.6 Sensores fotoelétricos

Os sensores fotoelétricos funcionam a partir da emissão de *laser* para detecção de objetos.

Figura 5 – Sensor Fotoelétrico



Fonte: Schneider (2019)

Um feixe de luz é emitido e retorna ao sensor, esse processo pode ocorrer basicamente das três formas listadas abaixo:

2.6.1 Sistema de detecção difuso

Neste sistema, o emissor e receptor do *laser* estão embutidos na mesma unidade. A luz transmitida de um diodo de emissão, atinge um objeto de qualquer cor e formato. (CONTRINEX, 2006).

O emissor envia o feixe de luz e, quando um objeto entra na área de atuação do sensor, o sinal é refletido de forma difusa e detectado pelo sensor, que o converte para um sinal digital.

2.6.2 Sistema de detecção de barreira

O receptor e emissor estão dispostos em estruturas independentes. O transmissor é alinhado de modo que o máximo de luz transmitida chegue ao receptor. (CONTRINEX, 2006).

O feixe de luz é emitido continuamente, portanto, para que o objeto seja detectado, ele precisa infringir a zona de propagação do *laser*.

2.6.3 Sistema de detecção retro reflexivo

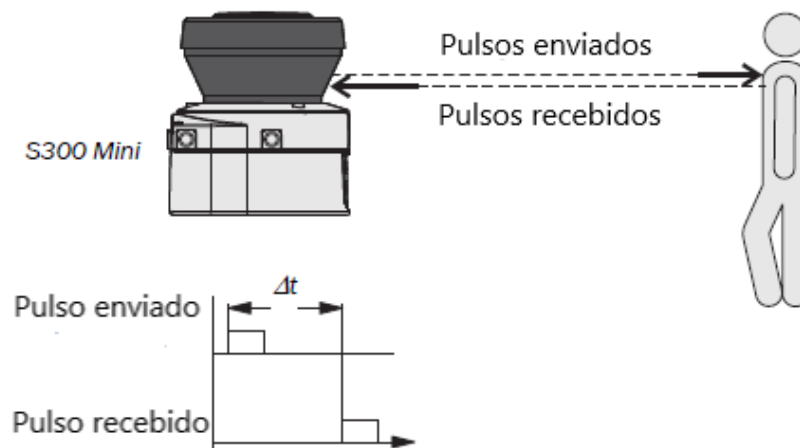
Assemelha-se ao sistema de detecção por barreira, no entanto o receptor está contido no mesmo invólucro do emissor. Necessitando no entanto, de um espelho para que ocorra a reflexão do feixe de luz e o emissor detecte o objeto.

O *laser* transmitido a partir de um diodo de emissão é focado por meio de lentes, e direcionado através de um filtro de polarização num espelho. Parte do laser que é refletido, passa novamente passa por um filtro de despolarização antes de retornar ao receptor. (CONTRINEX, 2006)

2.7 Scanner de segurança

O *scanner* de segurança é um sensor óptico, cuja funcionalidade consiste no monitoramento de uma zona de risco no ambiente em que há presença e/ou circulação de pessoas. O ambiente é mapeado através da emissão de raios *lasers* infravermelhos.(SICK, 2016)

Figura 6 – Princípio de Funcionamento do *Scanner* de Segurança



Fonte: Adaptado de SICK(2016).

Através do tempo de propagação da luz, é possível determinar a distância do sensor ao objeto. O equipamento produz pulsos de luz muito curtos, em paralelo a esse processo, um cronógrafo eletrônico realiza a medição de tempo que a luz levou para retornar ao *scanner*. Portanto, a partir dos dados de velocidade de propagação da luz e tempo de ida e retorno dos pulsos, o *scanner* consegue determinar a distância em que obstáculo se encontra. (SICK, 2016)

No instante em que ocorre invasão da área de segurança configurada, o dispositivo

envia sinais para o sistema de controle, para que este paralise a máquina, impedindo seu funcionamento até que a zona seja desobstruída.

2.7.1 *Scanner de segurança S300 Mini Standart*

O *scanner* utilizado foi o S300 *Mini Standart* -S32B-2011EA, além das funcionalidades mencionadas acima, este modelo apresenta como característica a possibilidade de configuração do campo de proteção com alcance de até 2 m e de até 8 m no campo de aviso.

Figura 7 – S300



Fonte: SICK (2019)

Para a configuração dos sistemas industriais de segurança, a SICK disponibiliza gratuitamente o *software Configuration e Diagnostic Software (CDS)*, que se caracteriza por sua simplicidade e facilidade de configuração.

Nesse modelo é possível configurar até três zonas. Também é possível a configuração do tempo de reinicialização da máquina ou do processo através do CDS. A tensão de alimentação é de 24Vcc e o consumo de corrente varia de níveis abaixo de 0,2 A sem carga de saída e abaixo de 0,22 A, com carga máxima de saída. (SICK, 2016)

Ainda segundo o fabricante, o S300 está equipado de um espelho que gira continuamente, modificando a posição do *laser* emitido, de forma a realizar a varredura em 270 graus. Portanto, o monitor a *laser* consegue definir com precisão a posição do objeto, pois ao determinar o ângulo de rotação do espelho, o S300 detecta a direção em que o objeto se encontra. (SICK, 2016)

A resolução do *scanner* de segurança pode variar de acordo com as especificações de segurança do projeto. Através do *software* CDS, configura-se a resolução de acordo com a

lista abaixo:

- 30 mm (detecção de mãos com menor distância de segurança);
- 40 mm (detecção de mãos com maior distância de segurança);
- 50 mm (detecção de pernas com menor tamanho do campo de proteção);
- 70 mm (detecção de pernas com maior tamanho do campo de proteção);
- 150 mm (detecção do corpo).

Segundo a (SICK, 2016), ao utilizar o *scanner* para aplicações móveis, é necessária uma resolução de 70 mm para que seja possível a detecção de pernas.

2.8 Módulo de radiofrequência

A transmissão sem fio, atualmente, tem tido intensamente utilizada como alternativa aos meios de transmissão cabeados. Dentre os métodos de transmissão sem fio, a por Radiofrequência (RF) é a mais utilizada.(OLIVEIRA, 2010)

Segundo (OLIVEIRA, 2010), a construção de transmissores e receptores RF, precisavam de um manejo artesanal, ou seja, passavam por um tempo prolongado de construção, além de serem necessários diversos ajustes nas configurações. Como solução, surgiram os módulos RF que são amparados por todas as funções necessárias para a transmissão RF, além de serem compactos e apresentarem custo reduzido.

2.8.1 Módulo RF 433,92 MHz

O módulo utilizado foi o GV-RK04S-12, que utiliza a frequência de 433,92 MHz para a comunicação entre o módulo transmissor e receptor. Este módulo possui quatro saídas a relé que são acionadas por cada um dos botões dispostos no controle remoto. Conforme pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Módulo de radiofrequência com 4 saídas a relé



Fonte: Flipflop (2019)

O módulo de radiofrequência utilizado apresenta como característica principal o alcance de até 200 metros, no entanto, esse alcance máximo refere-se à condição de inexistência de barreiras e de qualquer tipo de interferência entre o transmissor e receptor. Na condição real, em que existem obstáculos entre o emissor e receptor, além da presença de interferência de outros sinais, o módulo tem seu alcance significativamente reduzido.

A comunicação disponível neste tipo de módulo é *simplex*. Segundo (FOROUZAUN, 2008), a comunicação *simplex* é uma comunicação unidirecional. Apenas um dos dispositivos pode transmitir, enquanto que o outro pode apenas receber. Portanto, o controle remoto via rádio pode apenas enviar sinais para o receptor. Neste caso, o transmissor não recebe sinal de “*feedback*” para garantir que o comando enviado foi de fato executado pelo receptor.

O módulo de frequência de 433,92 MHz utilizado, é frequentemente encontrado para as aplicações de um modo geral para a comunicação por radiofrequência. Dentre as principais vantagens de suas aplicações, destaca-se o fato de ser um produto de baixo custo e com simples implementação.

Como principal desvantagem, tem-se o fato da frequência de 433,92 MHz ser amplamente utilizada, sendo assim mais suscetível a interferências de dispositivos que operem na mesma faixa de frequência. Além disso, o módulo RF apresenta como desvantagem o tipo de modulação utilizada, *Amplitude Shift Keying* (ASK), que será discutida nos próximos tópicos.

Dentre as características do módulo, pode-se mencionar também que é possível alterar o modo de operação através do *jumper* disposto sobre a placa do receptor. Para o modo saída sem bloqueio, com bloqueio e intertravados. Abaixo, encontra-se a descrição das demais informações técnicas do módulo.

Especificações receptor:

1. Frequência de operação: 315/433,92 MHz

2. Tensão de alimentação: 12 Vcc
3. Níveis máximos de tensão e corrente na saída: 14Vcc/20A e 125Vca/20A
4. Corrente em espera: menor que 6mA
5. Temperatura de Operação: -40°C à $+80^{\circ}\text{C}$
6. Sensibilidade do receptor: maior que -105 dBm
7. Carga máxima: 20 A

Especificações transmissor:

1. Frequência de operação: 433,92 MHz
2. Tensão de operação: 12Vcc
3. Corrente de operação: 13mA
4. Tipo de controle: código fixo/*learning code*

2.8.2 Modulação

As propriedades das ondas de rádio dependem da frequência. Em baixas frequências, as ondas de rádio atravessam os obstáculos, entretanto, a potência diminui significativamente à medida que a distância entre o transmissor e receptor aumenta. Por outro lado, em altas frequências, as ondas de rádio tendem a viajar em linha reta e a ricochetear nos obstáculos. (TANENBAUM, 2003).

Por meio da modulação é possível transmitir a informação do sinal banda base (em baixa frequência) através do uso de um sinal em alta frequência, tornando a transmissão mais eficiente e menos propensa a interferência do meio. Além disso, utilizar uma elevada frequência está relacionado com o comprimento de onda do sinal, de acordo com a expressão 2.1.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

Onde:

λ = Comprimento de onda;

c = Velocidade das ondas eletromagnéticas

f = Frequência de operação

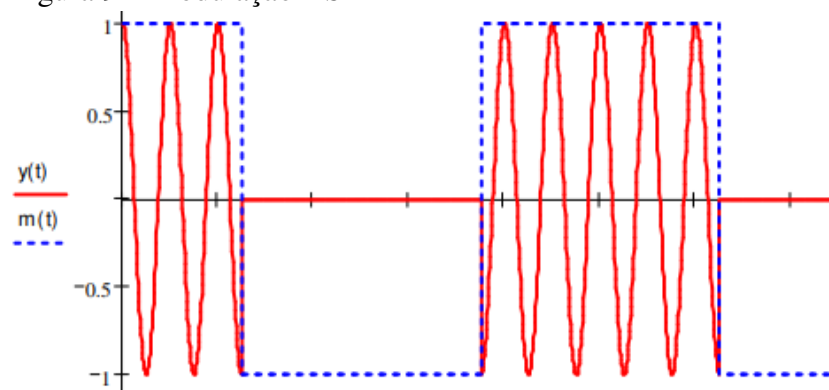
Ao considerar a propagação no vácuo, a velocidade é constante e igual a velocidade da luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$). No entanto, em um meio qualquer, essa velocidade será menor (quanto mais denso o meio, menor será a velocidade das ondas eletromagnéticas). (MIYOSHI, 2012)

De acordo com a equação 2.1, verifica-se que o comprimento de onda é inversamente proporcional a frequência do sinal. Neste caso, essa característica tem influência no tamanho da antena, que convencionalmente para uma transmissão eficiente de dados, deve ser de pelo menos $1/4$ do valor do comprimento de onda. Para a frequência de operação do módulo, o comprimento de onda será de 69,14 cm. Portanto, o comprimento da antena deve ser de pelo menos 17,28 cm

2.8.2.1 Modulação ASK

A modulação ASK trata-se da modulação digital por chaveamento de amplitude. Neste tipo de modulação, um sinal de alta frequência (portadora) é utilizada para transmitir a informação (sinal modulante). A portadora altera a potência da amplitude do sinal real de acordo com os bits emitidos pelo transmissor para que seja possível o *decoder* do receptor verificar a diferença de nível lógico alto e nível lógico baixo. Conforme na Figura 9.

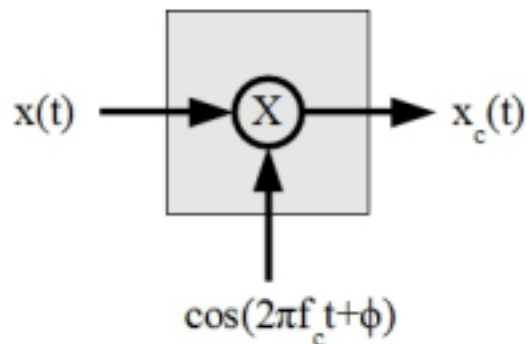
Figura 9 – Modulação ASK



Fonte: Marcio Antonio, Instituto Mauá de Tecnologia (2019)

Segundo (MIYOSHI, 2012), na modulação por chaveamento de amplitude (ASK), a amplitude do sinal é variada de acordo com o sinal de informação. O oscilador é responsável por gerar a onda portadora. Faz-se necessária a implementação de um modulador de amplitude digital, conforme a Figura 10. O sinal $x_c(t)$ é o sinal modulado resultante da modulação ASK.

Figura 10 – Modulador de Amplitude Digital



Fonte: Unicamp (2019)

Por tratar-se de uma modulação muito simples, este tipo de modulação é muito sensível a ruídos, portanto, exige um meio adequado para a transferência de dados. Por este motivo, a modulação em amplitude geralmente não é utilizada de forma isolada. (MIYOSHI, 2012). Portanto, sua utilização de forma isolada é indicada apenas nas situações em que o ruído presente no meio é mínimo.

2.8.3 Motor de corrente contínua de imã permanente

A conversão eletromecânica de energia envolve a troca de energia entre um sistema elétrico e um sistema mecânico, através do acoplamento de um campo magnético. No processo de conversão de energia, os dispositivos podem atuar como motores, convertendo a energia elétrica em energia mecânica de rotação, ou como geradores, realizando conversão da energia mecânica de rotação em energia elétrica. Além disso, quando o sistema elétrico é energizado com corrente alternada, os dispositivos são chamados de motores CA e geradores CA, respectivamente. Por outro lado, quando o sistema elétrico é energizado com corrente contínua, os dispositivos de conversão eletromecânica são chamados de motores CC ou geradores CC. (TORO, 1990)

A máquina de corrente contínua é constituída por duas estruturas: o estator e o rotor. O estator, denominado também como enrolamento de campo, é responsável pela magnetização da máquina. Já o rotor, denominado também como enrolamento de armadura, realiza a conversão da energia, dependendo do seu modo de operação. (SEN, 1996)

No motor de corrente contínua de imã permanente, os enrolamentos de campo são substituídos por imãs permanentes, como consequência disto, sua construção é mais simples. Dentre os benefícios da utilização de imãs permanentes, destaca-se o fato destes não necessi-

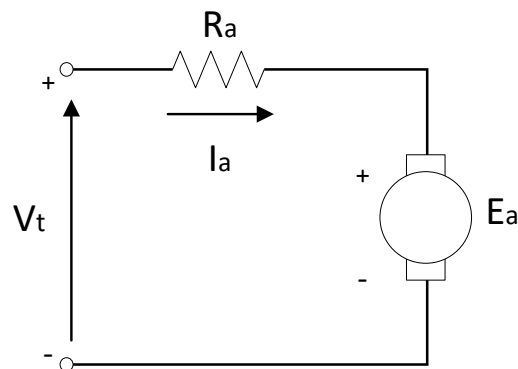
tarem de excitação externa e não dissiparem potência para o processo de criação de campos magnéticos da máquina. Como desvantagem deste tipo de máquina, encontra-se o risco de desmagnetização devido à elevadas correntes no enrolamento do motor ou sobreaquecimento no imã. (FITZGERALD, 2014)

O circuito equivalente deste tipo de máquina, é equivalente ao da máquina Corrente Contínua (CC) com excitação independente, no entanto, não existem ligações no circuito de campo.

Na máquina de corrente contínua de imã permanente, a expressão da tensão gerada que é dada por $E_a = K_a \times \Phi_d \times \omega_m$, em que Φ_d é o fluxo líquido ao longo do eixo do enrolamento de campo e K_a é uma constante geométrica, pode ser reescrita como $E_a = K_m \times \omega_m$, uma vez que Φ_d representa um valor constante. (FITZGERALD, 2014)

O circuito equivalente pode ser representado conforme a Figura 11.

Figura 11 – Motor de Corrente contínua de imã permanente



Fonte: O autor.

A partir do circuito equivalente, tem se que:

$$V_t = I_a R_a + E_a. \quad (2.2)$$

Onde:

V_t = Tensão aplicada

I_a = Corrente de armadura

R_a = Resistência de armadura

E_a = Tensão gerada

Além disso:

$$E_a = K_m \omega_m. \quad (2.3)$$

Onde:

K_m = Constante de conjugado do motor

ω_m = Velocidade de operação da máquina

O conjugado da máquina pode ser encontrado:

$$T_{mec} = \frac{E_a I_a}{\omega_m} \rightarrow \frac{K_m \omega_m I_a}{\omega_m} \rightarrow K_m I_a \quad (2.4)$$

Dessa forma, o conjugado do motor de imã permanente, é fornecido pelo produto constante de conjugado pela corrente de armadura. (FITZGERALD, 2014)

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Procedimentos metodológicos

Para implementação do projeto, constitui-se como etapa fundamental, definir a metodologia a ser adotada para a realização das atividades propostas.

3.1.1 Elaboração do CANVAS

Inicialmente, ocorreu a elaboração do CANVAS do projeto. O CANVAS é uma ferramenta utilizada para modelagem de negócios ou projetos, sejam projetos já existentes ou novas ideias. Sucintamente, busca estruturar como o projeto será modelado e entregue ao cliente final. Tal documento contemplou as principais funcionalidades do sistema e demais definições para direcionar a etapa de implementação do projeto, que podem ser observadas no anexo A.

3.1.2 Etapa de estudo e análise do funcionamento do carro elétrico rebocador

Esta etapa trata do estudo do funcionamento dos componentes elétricos do rebocador. Este estudo foi realizado através da análise do diagrama elétrico disposto no manual do fabricante e observações no próprio carro. Através desta análise, pôde-se identificar as tensões de alimentação disponíveis, o espaço livre no veículo para a instalação do quadro elétrico e identificação dos sinais necessários a serem enviados ao controlador do motor de tração no modo de operação semiautomática.

3.1.3 Definição dos requisitos e elaboração da especificação funcional

Dispondo da informação dos sinais necessários para o acionamento do motor de tração do carro, foi possível estabelecer os dispositivos elétricos necessários para a implementação do sistema. A partir de então, iniciou-se a etapa de desenvolvimento do projeto.

3.1.4 Desenvolvimento do sistema de controle semiautomático

Consistiu nas etapas de elaboração do sistema de controle, adaptação mecânica e elétrica. Além disso, consistiu na fase de realização de testes de cada componente do sistema. Nesta etapa encontram-se gargalos que precisaram ser revistos ainda que estivessem contra o que foi proposto inicialmente no CANVAS. No entanto, destaca-se neste ponto a interação

com o cliente final para alinhar as mudanças necessárias para que o projeto se tornasse viável tecnicamente. Os elementos que atrasaram a entrega, ou ainda que não demonstram-se robustos suficientemente para serem inseridos no chão de fábrica foram reavaliados e posteriormente substituídos por mecanismos e componentes mais adequados para a realidade da fábrica.

Devido as modificações necessárias, o principal ponto afetado foi o cronograma do projeto, pois conforme surgiram os entraves no sistema, foi necessário atrasar a data de entrega do projeto. Destaca-se também a importância da sincronia das equipes envolvidas na entrega do projeto, como os responsáveis pela prototipagem dos elementos mecânicos e modificações elétricas no sistema. Esta etapa será discutida detalhadamente na próxima seção.

3.1.5 Implementação do projeto piloto na fábrica para a fase de testes

Trata-se da fase de instalação do projeto na fábrica para o passar pelo período de testes. Nesta etapa, houve momentos de alinhamento com os operadores dos rebocadores e também a apresentação para o cliente (gerente da fábrica, gestores e líderes envolvidos na implantação do projeto). Além disso, a equipe de Engenharia de Qualidade teve papel fundamental na validação dos ganhos, bem como na análise das melhorias ainda necessárias no processo para que o projeto fosse efetivamente implantado.

3.1.6 Análise dos resultados e sugestões de melhorias para implantação e replicação do projeto

Após as etapas de desenvolvimento e com o projeto pronto para ser implantado na fábrica, analisaram-se os resultados pertinentes ao processo a fim de obter dados para confrontar com o processo realizado pelo carro sem a funcionalidade e definir a justificativa para replicação em toda fábrica. Além disso, após alguns dias de funcionamento do projeto, analisaram-se os pontos que precisariam ser refeitos ou melhorados a fim de garantir que a replicação do projeto seja realizada sem transtornos e de forma efetiva.

3.2 Desenvolvimento do sistema de controle semiautomático

A partir do CANVAS (Anexo A), estruturou-se as especificações do produto para eliminar o desperdício citado e atender as necessidades do cliente final. O sistema, inicialmente, consistiu em dispor ao operador um controle remoto de comunicação por radiofrequência para

avanzar o veículo até a próxima máquina para a coleta de componentes. Além disso, seria necessário equipar o rebocador com *scanner* de segurança para tornar possível correções de rota e parada de emergência. Nas situações de correção de rota, o controle de rotação da direção ocorreria por meio de um motor de corrente contínua acoplado ao eixo da direção. O controle de todas essas funções seria realizado por intermédio de um sistema embarcado através do uso de um microcontrolador compacto e de baixo custo. Adiante, serão abordados com mais detalhes a etapa de implementação de todo sistema.

3.2.1 Adaptações mecânicas

Nesta seção, serão descritas as adaptações mecânicas necessárias para atender às novas especificações de funcionalidade do sistema.

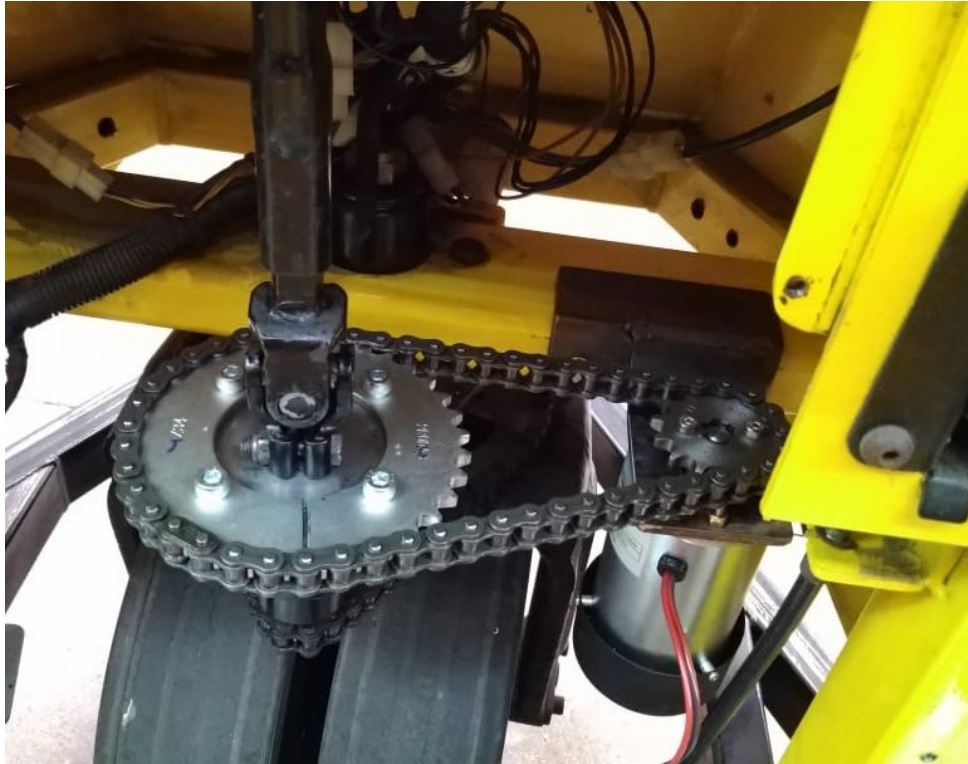
3.2.1.1 Adaptações no sistema da direção

No modo de controle semiautomático, faz-se necessário um sistema de controle de direção elétrico, uma vez que este modo requer um mecanismo de correção da direção que possa ser comandada pelo sistema de controle, sem intervenção humana.

Portanto, do ponto de vista mecânico, foi necessário realizar a adaptação do conjunto da direção do carro rebocador, já que este possuía apenas a direção mecânica. De acordo com a etapa de análise da composição do carro elétrico rebocador, verificou-se que a alimentação existente era proveniente de uma bateria composta por 18 células com tensão de 2 V. Neste caso, acoplou-se um motor de corrente contínua de ímã permanente junto ao eixo da direção do veículo através de corrente e engrenagem.

Ao utilizar o motor de corrente contínua de ímã permanente, têm-se a vantagem de não ser necessário excitar o circuito de campo com uma outra fonte de alimentação, já que essa é realizada por intermédio de ímãs.

Figura 12 – Modificações mecânicas do sistema de direção



Fonte: O autor.

3.2.1.2 *Modificações acionamento do freio*

Um outro ponto que merece destaque é o sistema de frenagem do carro. A princípio, considerou-se a alternativa do carro parar apenas por inércia enquanto o sistema estivesse funcionando no modo remoto. No entanto, mensurando a carga transportada e velocidade do veículo, considerou-se que seria inviável e inseguro não incluir um acionamento para o freio no modo de operação remoto. Para evitar situações de risco de colisão em situações repentinas, tais como o cruzamento inesperado de pessoa na frente de veículo, o freio precisa atuar imediatamente. Como o freio do carro é hidráulico, o mecanismo que se optou por utilizar foi um motor de corrente contínua de ímã permanente com redução para tensionar o pedal de freio nas situações necessárias. O motor foi acoplado na parte inferior do veículo, de forma a não intervir ou atrapalhar o operador do veículo durante o funcionamento do sistema no modo manual, conforme pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 – Instalação do motor para o acionamento do freio



Fonte: O autor.

3.2.1.3 Local de instalação do scanner de segurança

Conforme discutido, o *scanner* de segurança foi utilizado para garantir a parada do veículo em situações que ocasionariam colisão, sua utilização é indispensável para que as diretrizes de segurança sejam seguidas.

A recomendação é realizar a fixação do *scanner* alinhando o plano de varredura horizontalmente em 15 cm, no entanto devida à altura do para-choque o dispositivo foi instalado à uma altura de 20 cm. Segundo o fabricante, à essa altura o *scanner* consegue detectar de forma confiável uma pessoa que esteja deitada ou se rastejando sobre o plano de varredura do *laser*.

Figura 14 – Local de instalação do Sensor de Segurança



Fonte: O autor.

Além disso, foi necessário também, confeccionar uma proteção de metalon para proteção do sensor em situações que o moto semiautomático não esteja ativado, conforme pode ser observado na Figura 14.

3.2.2 Descrição da construção do protótipo inicial

3.2.2.1 Sistema embarcado

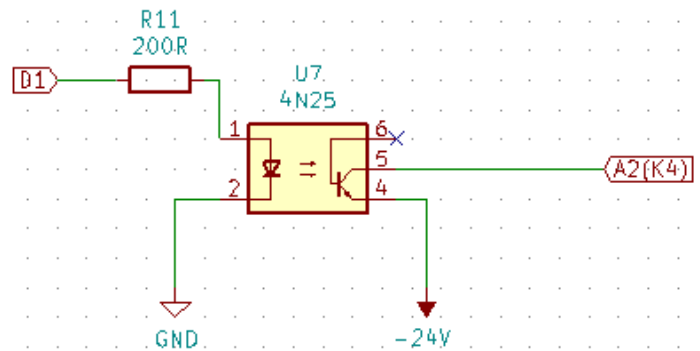
Com o intuito de construir um protótipo de baixo custo e compacto, na fase inicial de concepção do sistema, foi definido que o controle do sistema seria realizado por um sistema embarcado através do microcontrolador arduíno nano. Portanto, a primeira etapa do projeto, consistiu em confeccionar uma placa de circuito impresso. O conjunto de entradas e saídas desta placa foi projetado para contemplar o acionamento do motor da direção, leitura do *scanner* de segurança, acionamento do freio e acionamento do motor principal de tração do rebocador.

A partir da esquematização do novo circuito elétrico, concluiu-se que para o acionamento e leitura da maioria dos equipamentos, seria necessário trabalhar com entradas de 24V e 12V. Como o microcontrolador utilizado foi o Arduíno (níveis de tensão de 0 à 5V), o sistema

deveria conter a etapa de conversão do nível de tensão desses sinais. Além disso, também é essencial que se isole o sistema de acionamento das cargas do sistema de controle para garantir a integridade do sistema de controle. Para esta função utilizou-se optoacopladores 4n25, que possuem a função de isolar eletronicamente os dois circuitos.

De início, foi realizada a esquematização do circuito no *software* próprio para a construção da placa de circuito impresso. O programa computacional utilizado foi o **Kicad**, que é um *software* de código aberto para projetos de circuitos impressos. Além de ser um *software* livre, este apresenta como característica a facilidade na concepção de *layouts* e suas conversões para placas de circuito impresso. Na Figura 15, observa-se alguns dos elementos dispostos no diagrama elétrico projetado no **Kicad**.

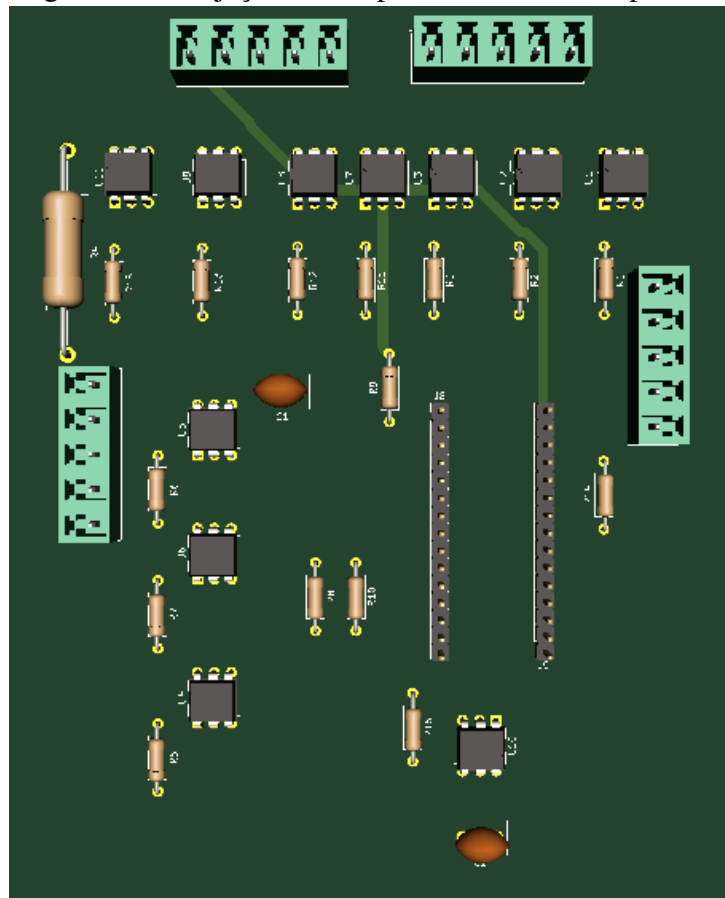
Figura 15 – Componentes do diagrama elétrico



Fonte: O autor.

Posteriormente, partiu-se para o design da placa, ou seja, organização dos elementos no *software* de acordo com o projeto físico. Alguns pontos merecem destaque neste processo. O primeiro deles é a necessidade de associar cada um dos elementos contidos no esquema elétrico a *footprints*, pois dessa forma os elementos ficam associados ao objeto real que será inserido na placa. Além disso, é preciso garantir que os tamanhos das trilhas irão suportar a corrente mínima que irá passar por cada trecho do circuito. Ao finalizar a disposição dos componentes, é possível realizar a visualização tridimensional da placa, conforme é indicado na Figura 16:

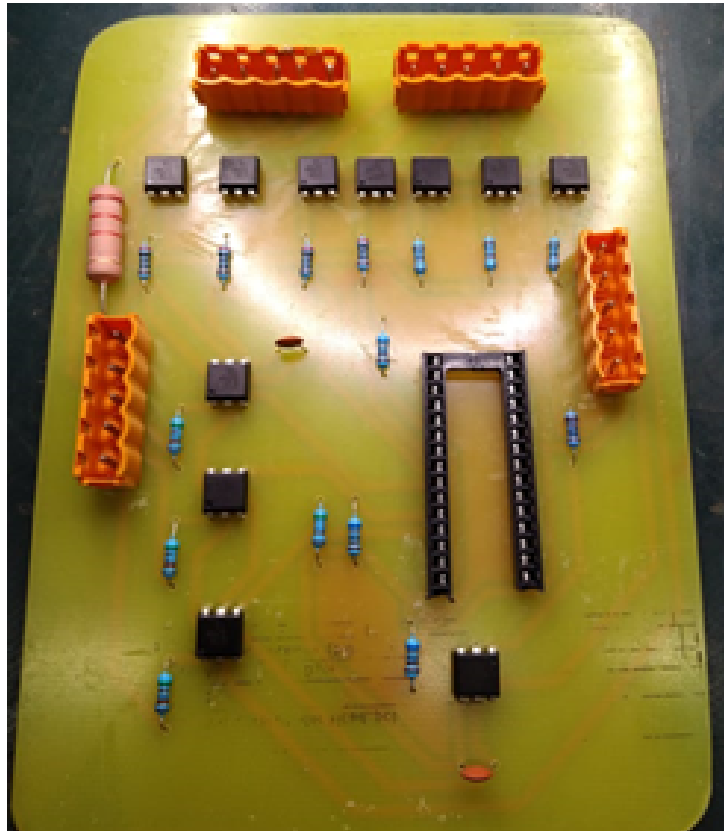
Figura 16 – Projeção 3D da placa de circuito impresso



Fonte: O autor.

A etapa de prototipagem refere-se ao processo de confecção da placa. O método utilizado para a confecção da placa foi através do método de transferência térmica, ou seja, através do aquecimento do toner para fixação em uma superfície. Após o desenho do *layout*, foi feita a impressão para transferi-lo através do calor à uma placa de fenolite, para posterior corrosão. Concluída a etapa de transferência para placa, foram realizados os furos para dispor e soldar os componentes eletrônicos. Neste caso, utilizou-se brocas de 0,8 mm para os elementos de encapsulamento DIP e brocas de 1,5 mm para os conectores. Por fim, após soldar todos os componentes, utilizou-se verniz nas trilhas para evitar a oxidação destas. Ao final, a placa ficou com o aspecto indicado na Figura 17.

Figura 17 – Placa de circuito impresso confeccionada



Fonte: O autor.

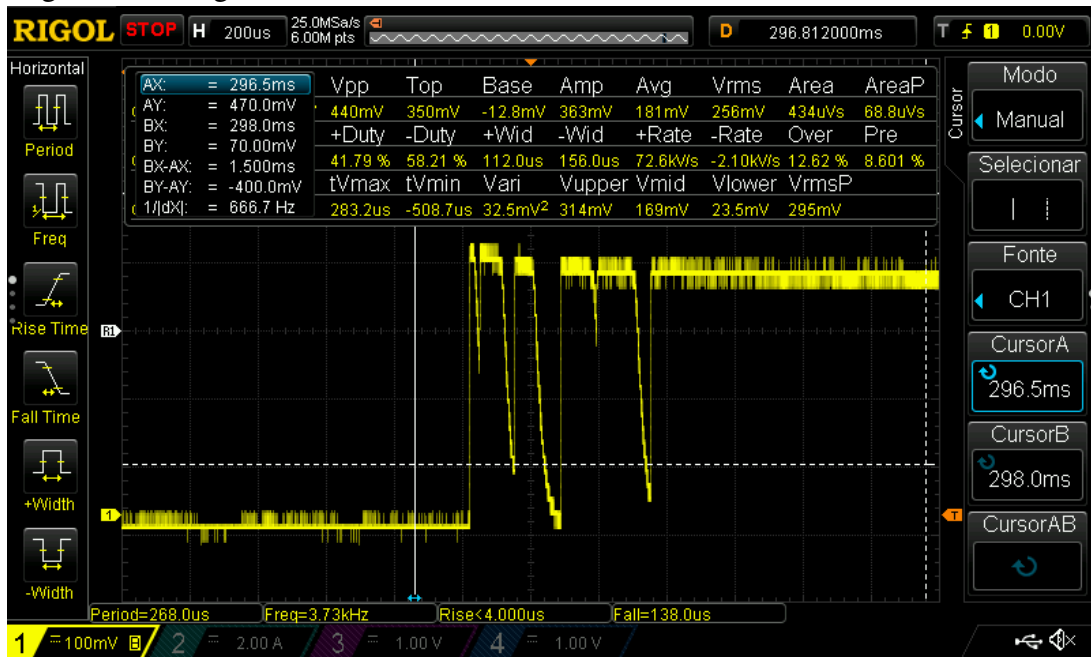
De acordo com a Figura 17, os componentes utilizados resumiram-se à 11 optoacopladores 4n25, 16 resistências, microcontrolador e conectores. Ao dispor estes componentes de acordo com a projeto, a placa ficou com dimensões de 12,5x10,5 cm.

3.2.2.2 *Ensaio do protótipo inicial*

Conforme mencionado, na definição do escopo inicial do projeto, foi proposto o uso do microcontrolador arduino nano para o controle do sistema. No entanto, ainda na fase inicial, encontram-se problemas na leitura dos sinais de entrada do sistema.

Na rotina de acionamento do freio do veículo, implementou-se a função de interrupção para acionar a saída do freio sempre que o evento de liberação do controle remoto ocorresse. No entanto, como a saída do módulo receptor é constituída de relés, ocorreu o surgimento do efeito *bounce*. A Figura 18 foi capturada para registro do surgimento deste efeito.

Figura 18 – Surgimento do efeito bounce na saída do módulo rf



Fonte: O autor.

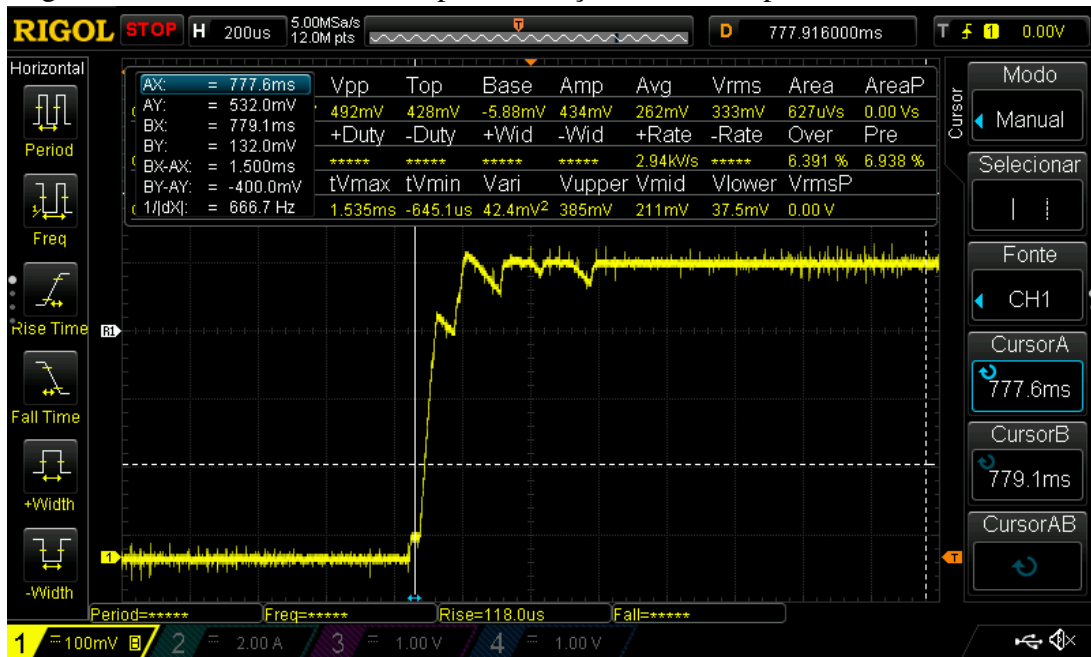
De acordo com a Figura 18, durante um pequeno intervalo de tempo, ao pressionar o botão do controle remoto, devido ao tempo de fechamento dos contatos eletromecânicos do relé do módulo receptor, ocorreu o efeito de que o botão do controle estivesse sendo pressionado e liberado inúmeras vezes. Com isso, nesse pequeno intervalo, a leitura do sinal apresentava bordas negativas.

A função de acionamento do freio foi implementada inicialmente através da função de interrupção nas situações de invasão da zona de segurança e no evento de liberação do botão do controle remoto, portanto, nos momentos de borda negativas. Devido ao efeito *bounce* a rotina do freio estava sendo chamada em instantes inesperados de pressionar o controle remoto.

Para eliminar as consequências advindas do efeito *bounce*, adicionou-se um filtro capacitivo com a função manter o nível de tensão constante, evitando dessa forma, as oscilações indesejadas que ocorriam no início da comunicação do módulo RF.

Após realizar essa modificação no circuito, a leitura obtida pelo receptor modificou-se, conforme indicado na Figura 19:

Figura 19 – Saída do módulo rf após instalação do filtro capacitivo



Fonte: O autor.

Com a eliminação do efeito *bounce* a interrupção passou a ser chamada no momento ideal.

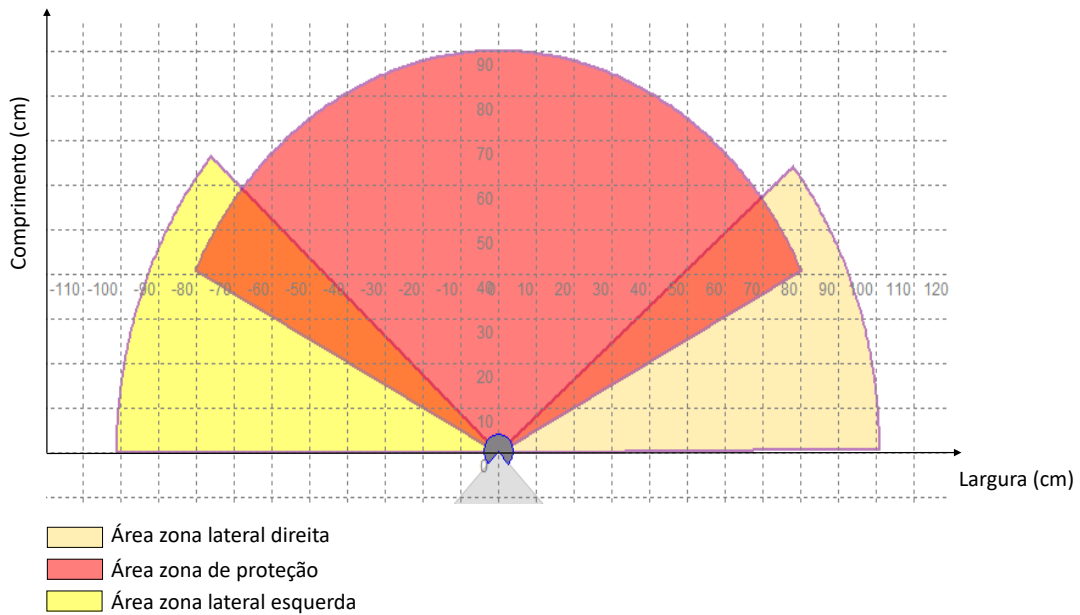
Além disso, o sistema baseado na placa de circuito impresso começou a apresentar falhas nos valores de níveis de tensão. A identificação dessas falhas tornou-se um processo demorado, uma vez que o microcontrolador utilizado não dispunha de um monitoramento em tempo real implementado. Sendo necessário realizar a medição dos níveis de tensão em cada um dos pontos da placa. Portanto, como os problemas eletrônicos enfrentados estavam levando ao atraso da liberação das fases do projeto, optou-se por utilizar uma solução mais robusta para o controle do sistema. Ademais, a agressividade do ambiente industrial iria trazer consequências negativas para o funcionamento do circuito de controle eletrônico. Dessa forma, optou-se por substituir a placa de controle com o microcontrolador Arduíno por um CLP. Nos capítulos subsequentes serão descritas as vantagens obtidas em relação ao uso do CLP, ao invés da placa que foi projetada anteriormente.

3.2.3 Proposta inicial do sistema de navegação

O projeto foi estruturado, de início, para utilizar o *scanner* de segurança para auxílio da navegação do carro rebocador. Configurou-se três zonas neste *scanner*, dentre as quais uma seria utilizada para paradas de emergência e as outras duas para a função de correção de rota. O

princípio da correção de rota, seria obtido a partir da invasão das zonas laterais para corrigir a rota do carro, ou seja, a medida que algum obstáculo infringisse a zona lateral o carro seria direcionado para o sentido oposto para evitar colisão e, portanto, realizar a correção de percurso. A Figura 20 refere-se à essa configuração do *scanner* para o sistema de navegação.

Figura 20 – Configuração das áreas de varredura do *scanner*



Fonte: O autor.

Ao realizar uma análise detalhada das áreas ao qual o projeto seria implantado, constatou-se que essa solução não seria adequada, pois o rebocador precisa navegar apenas no layout desenhado para sua operação que possui uma largura em torno de 1,10 metros. Em alguns casos, ele está inserido em ambientes com corredor com medidas laterais de até 2,20 metros, no entanto, ele não poderia invadir a área de circulação das pessoas. Portanto em algum momento o rebocador sairia de seu layout, se o único critério utilizado fosse a invasão das zonas.

Além disso, há uma heterogeneidade no ambiente que torna a leitura do sensor utilizado insuficiente. A fábrica é constituída de componentes de diferentes alturas e tamanhos, em casos extremos, devido ao local de instalação do sensor (à 20 cm do chão), o sensor não seria capaz de identificar obstáculos. Esse caso pode ser facilmente compreendido utilizando-se como exemplo uma esteira que possui o apoio apenas em suas extremidades, ou seja, em torno do seu perímetro ela não seria "varrida" pelo *laser* do *scanner* podendo o rebocador vir a colidir.

Outro problema foi o alinhamento da direção do carro, por motivos mecânicos não

era possível garantir que o rebocador permaneceria perfeitamente em trajetória reta com o corredor. Neste caso, foi necessário utilizar medidas para correção da direção do carro.

A primeira adotada foi a utilização de um sensor indutivo para verificação do alinhamento da direção com o carro, instalou-se um parafuso no garfo das rodas da direção e na estrutura do rebocador instalou-se o sensor indutivo, Conforme indicado na Figura 21.

Figura 21 – Local de instalação do sensor indutivo



Fonte: O autor.

A princípio, os resultados demonstraram-se positivos. No entanto não era o suficiente para atender às especificações do projeto, pois seria necessário receber uma referência externa para garantir que o carro estaria alinhado com relação ao corredor.

Portanto, devido às limitações da leitura do sensor de segurança na zona de navegação e questões mecânicas, foi necessário a adoção de uma nova proposta para garantir a operação do veículo dentro do *layout* proposto.

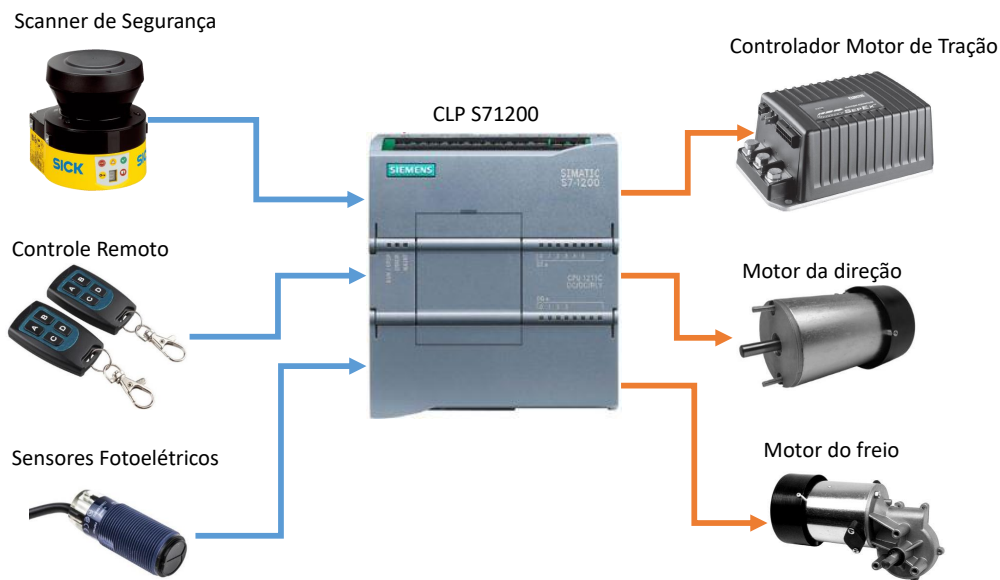
3.2.4 Descrição da solução final

Após observadas as limitações advindas do uso da placa de circuito impresso projetada e do sistema de correção de rota, estabeleceu-se outras especificações para implementação do projeto. A primeira delas foi o uso do CLP, para realizar todo o gerenciamento e controle do

sistema. Além disso, o sistema de correção de rota foi modificado para um sistema de navegação guiado por faixa. Nesta etapa, foi essencial o contato com o cliente para justificar as modificações no sistema e verificar a aceitação frente à essas modificações, que alterariam a data de entrega do projeto, além de modificar o *layout* inserindo uma faixa no meio do chão de fábrica.

Após descartado o uso do sistema embarcado projetado baseado no arduíno e mudança no princípio do sistema de navegação, foi necessário adequar a lógica de controle ao CLP, também foram realizadas modificações pontuais no esquema elétrico. Na Figura 22 encontram-se os principais elementos do sistema a partir da utilização do CLP.

Figura 22 – Elementos do sistema



Fonte: O autor.

A descrição da solução técnica da proposta final, será dividida em três principais etapas: Sistema de Navegação, *scanner* de segurança e programação do controlador lógico programável.

3.2.4.1 Sistema de navegação

O sistema de navegação foi baseado no princípio do veículo seguidor de fita guia, sendo esta disposta no piso da fábrica. Na parte inferior do veículo foram instalados três sensores ópticos do tipo difuso para realizarem a detecção da fita. Os sensores enviam continuamente

sinais digitais ao CLP que automaticamente atua na correção da direção para que o veículo permaneça sobre a trilha.

A fixação dos sensores foi realizada junto ao garfo das rodas da direção do carro, conforme indicado na Figura 5.

Figura 23 – Fixação dos sensores fotoelétricos



Fonte: O autor.

Os sensores ópticos fornecem nível lógico alto (24 V) quando posicionados sobre a fita e nível lógico baixo (0V) quando posicionados sobre o piso. O motor da direção é acionado através de uma ponte H com contadores, que são acionados através das saídas digitais do CLP.

Para a orientação da direção, foi utilizada a expressão 3.1 que leva em consideração o estado de leitura do sensor da esquerda e sensor da direita.

$$Variavel_{Controle} = 2(S_{esq}) + S_{dir} \quad (3.1)$$

A leitura do sensor fotoelétrico disposto no centro do veículo, foi utilizada como parâmetro de garantia do alinhamento do veículo. Além disso, a saída do sensor também foi conectada a um sinal luminoso ao alcance do campo de visão do operador, como meio de orientação do posicionamento do carro sobre a faixa.

3.2.4.2 Scanner de segurança

Por utilizar um sistema de navegação a partir da leitura faixa disposta no piso, o Scanner de Segurança foi utilizado para impedir a operação do veículo na condição de existência de obstáculos na zona de perigo programada. Portanto, esta seção trata-se da definição e configuração desta zona.

3.2.4.2.1 Comprimento do campo de proteção

Seguindo as condições estabelecidas pela ISO 13 855, o fabricante fornece a expressão 3.2 para o cálculo do comprimento da zona de proteção.

$$S_L = S_A + Z_G + Z_R + Z_F + Z_B. \quad (3.2)$$

Sendo:

S_A = Distância de parada do veículo

Z_G = Acréscimo de segurança geral do S300 Mini = 100 mm

Z_R = Acréscimo devido aos erros de medição relacionado à reflexão do S300 Mini

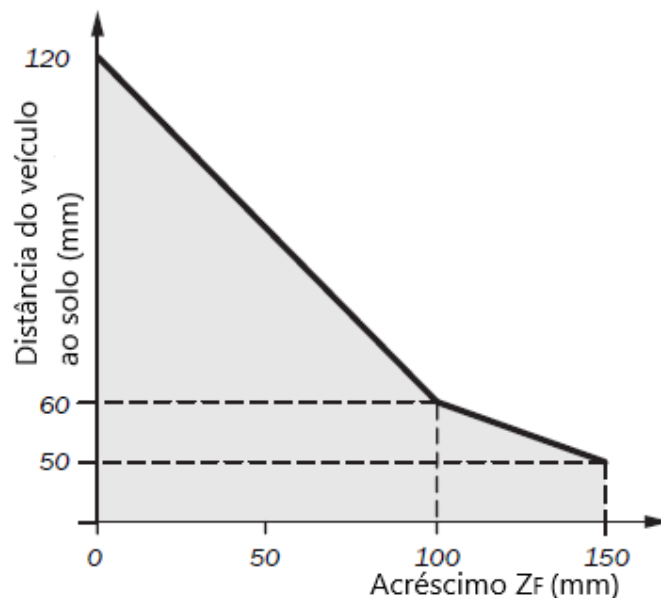
Z_F = Acréscimo devido à proximidade do veículo ao solo

Z_B = Acréscimo para a redução do desempenho de frenagem do veículo

Através do manual do veículo, altura do rebocador com relação ao solo é de 835 mm.

O complemento Z_F , relaciona-se com a distância do veículo ao piso, de acordo com o gráfico da Figura 24.

Figura 24 – Diagrama de distância entre o veículo e o solo



Fonte: adaptado de SICK(2016).

Este acréscimo é necessário porque uma pessoa geralmente é detectada acima do pé. Portanto, ação de frenagem pode não levar em consideração o comprimento do pé em frente ao

ponto de detecção. Se um veículo não tem distância do solo, as pessoas podem chegar a receber ferimentos nos pés.(SICK, 2016)

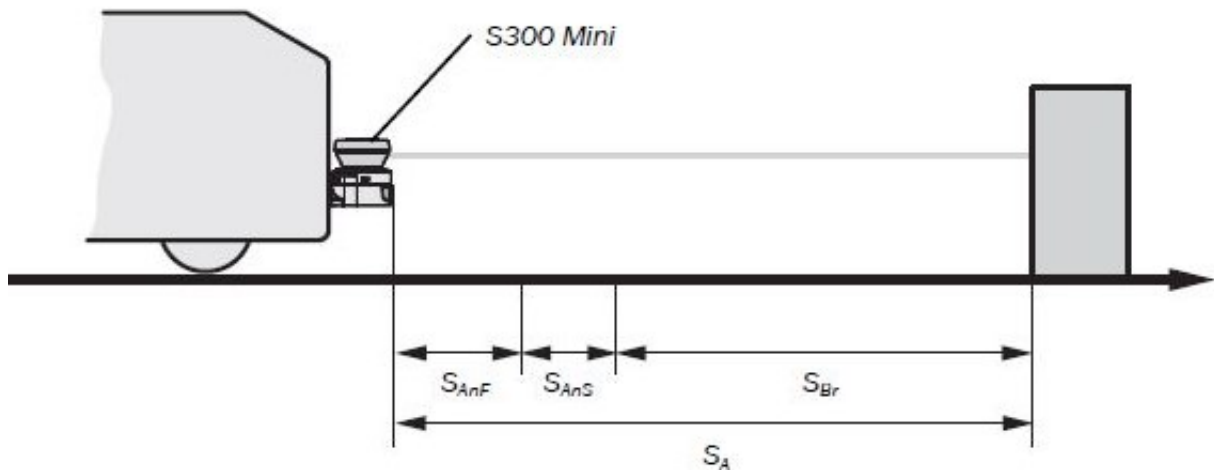
Conforme o gráfico, obtêm-se que esse fator precisa ser aplicado, uma vez que a distância entre o veículo e o solo é de 835 mm.

Por não terem sido encontradas informações referentes à redução do desempenho de frenagem do veículo (Z_F), considerou-se para esse fator de correção, uma distância de 100 mm.

Com relação aos erros de medição relacionado à reflexão do S300 Mini, foi considerado um acréscimo de 100 mm. Para os casos em que há a presença de objetos retro reflexivos à uma distância inferior à um metro do veículo, a correção que deve ser adotada é de 200 mm, no entanto no percurso do rebocador esta condição não ocorre.

O valor de S_A , é composto por três parcelas, conforme indicado na Figura 25:

Figura 25 – Distância de parada do veículo



Fonte: SICK(2016)

Portanto, a equação para o cálculo da distância de parada será:

$$S_A = S_{Br} + S_{Anf} + S_{AnS}. \quad (3.3)$$

Sendo:

S_{Br} = Distância de frenagem do veículo

S_{Anf} = Distância percorrida durante o tempo de resposta do controlador do veículo

S_{AnS} = Distância percorrida durante o tempo de resposta do *scanner* de segurança a *laser*

Para obter a distância de frenagem do veículo (S_{Br}), este dado foi coletado em campo a partir da operação do rebocador. O valor observado foi de 200 mm.

A informação referente à distância percorrida durante o tempo de resposta do controlador do veículo também não foi encontrada, portanto considerou-se para esse parâmetro (S_{Ans}) um valor de 50 mm.

O valor da distância percorrida durante o tempo de resposta é dado por:

$$S_{Ans} = T_s + V_{max}. \quad (3.4)$$

Sendo:

T_s = Tempo de resposta do *scanner* de segurança

V_{max} = Velocidade máxima de operação do veículo

O tempo de resposta depende do número de amostragens configuradas, neste caso, configurou-se o *scanner* para realizar a amostragem múltipla dupla (padrão). Portanto, segundo o fabricante o tempo de resposta dispositivo é de 80 ms. De acordo com a velocidade de 0,5 m/s, o valor da distância percorrida durante o tempo de resposta do S300 é de 40mm, dessa forma, a distância de parada do rebocador é de 290 mm. Substituindo todos os valores na expressão 3.2:

$$S_L = 790mm. \quad (3.5)$$

3.2.4.2.2 Largura do campo de proteção

A largura do campo de proteção deve cobrir a largura do rebocador elétrico, os acréscimos para o erro de medição e a proximidade do veículo com o solo. Portanto, seu valor é encontrado a partir da equação 3.6.

$$S_B = F_B + 2(Z_G + Z_R + Z_F). \quad (3.6)$$

Sendo:

F_B = Largura do veículo

Z_G = Acréscimo de segurança geral do S300 Mini = 100 mm

Z_R = Acréscimo devido aos erros de medição relacionado à reflexão do S300 Mini

Z_F = Acréscimo devido à proximidade do veículo ao solo

A largura do veículo utilizado é de 835 mm. Dessa forma, a largura do campo de proteção deve ser:

$$S_B = 1135mm. \quad (3.7)$$

No entanto, duas considerações precisam ser realizadas, uma delas é o fluxo constante de pessoas no mesmo corredor de operação do rebocador e a outra é a limitação de espaço nas laterais do veículo. De forma que, ao configurar essa largura da zona, acontecerão paradas constantes no veículo e acionamento do sistema de frenagem. Dessa forma, considerou-se um acréscimo de segurança total de apenas 32,2 mm, resultando em uma largura da zona de 900 mm.

3.2.4.2.3 Configuração do *scanner* de segurança

Através do *software* CDS, parametrizou-se as condições para a leitura do *Scanner* de Segurança. As etapas principais disponibilizadas pelo *software* consistiram em definir o desenho da área de proteção, resolução, tipo de aplicação (móvel ou estática), configuração dos módulos de I/O e tempo para a reinicialização de bloqueio.

Para tornar o processo mais seguro, o tempo de bloqueio e de reinicialização foram parametrizado para 2s. Portanto, os sinais de saída do S300 Mini comutam para o estado *ON* apenas se não houver nenhum obstáculo na área de proteção pelo tempo de reinicialização configurado.

Configurou-se o *Scanner* para aplicação móvel e resolução de 70 mm, de acordo com o que fora discutido no capítulo de Fundamentação Teórica.

De acordo com medidas realizadas em campo, em conformidade com a geometria, velocidade do rebocador e cálculos das zonas, os obstáculos precisariam ser detectados à uma distância de 80 cm se dispostos na parte frontal do veículo e detectados à uma distância de 45 cm do sensor, se estiverem dispostos nas laterais do veículo. Essa configuração garante que o carro não colida com os objetos deixados próximos às suas laterais.

Sempre que algum objeto ou pessoa esteja infringindo a zona de proteção, o dispositivo envia ao controlador através de um sinal digital, para que dessa maneira o CLP tome a ação de desligar o motor da tração e demais elementos do sistema de movimentação. No instante em que a zona está novamente livre, após o tempo de bloqueio configurado de 2s, o *Scanner* retorna

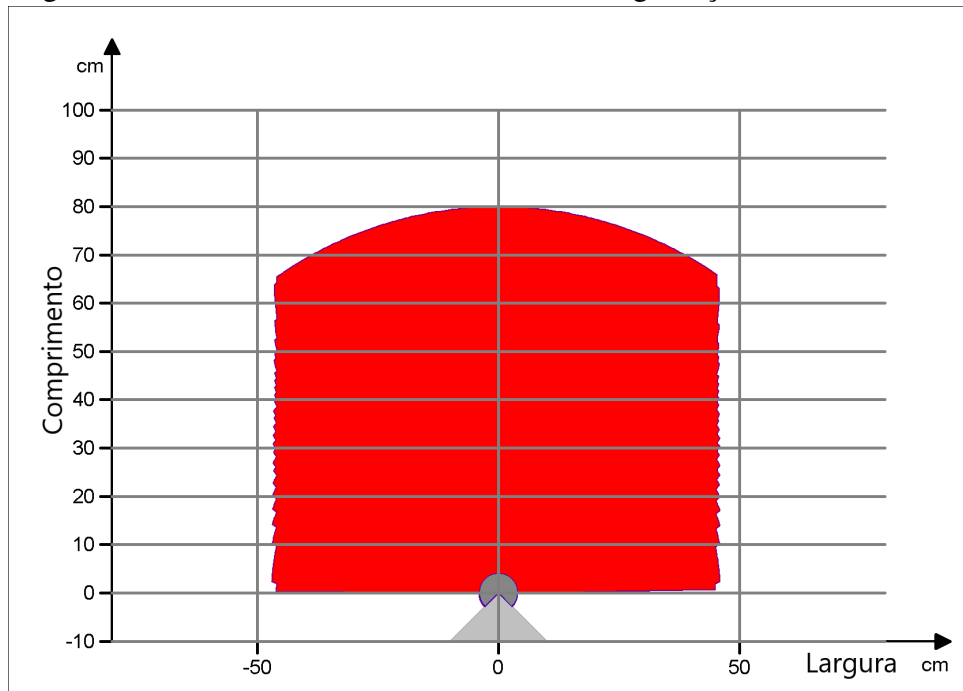
a enviar o sinal de 24V, sinalizando a zona está liberada para movimentação.

Lembrando que se o campo de proteção estiver livre, o status do sensor apresenta nível lógico alto (24 V). Por outro lado, se houver algum obstáculo bloqueando o caminho, o nível lógico será baixo (0 V).

Além disso, a construção do S300 Mini é baseada em redundância, fornecendo assim uma maior confiabilidade no funcionamento do dispositivo. O *Scanner* fornece duas saídas físicas referentes ao estado da zona de proteção.

De acordo com as diretrizes estabelecidas, a área de segurança foi desenhada através do CDS e posteriormente transferida ao *scanner* de segurança. A configuração do desenho final que atendeu a todos os requisitos de segurança, encontra-se na Figura 26.

Figura 26 – Plano de varredura do *scanner* de segurança

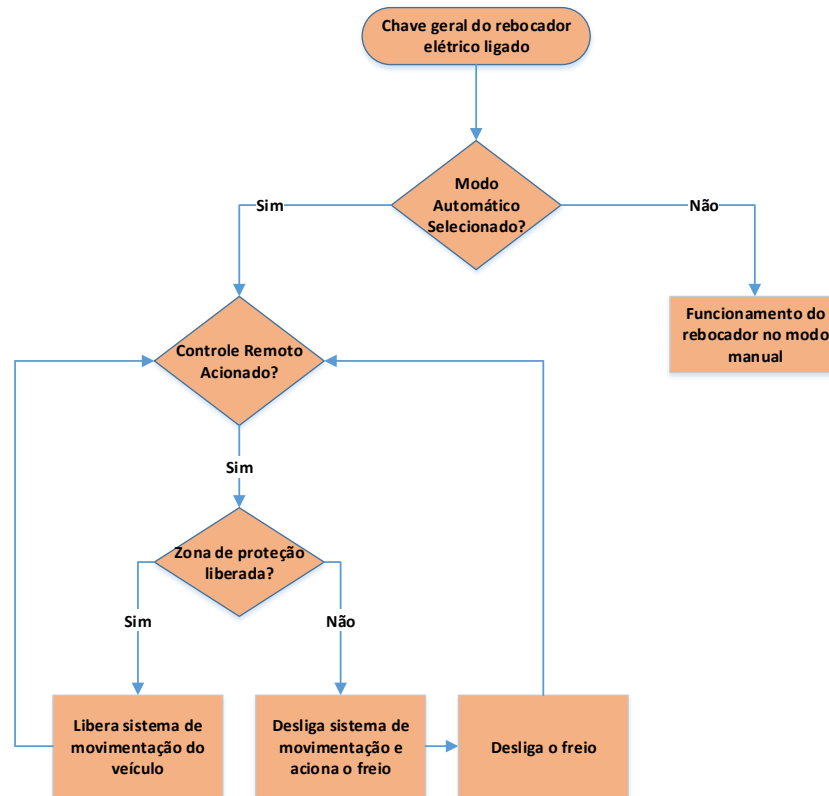


Fonte: O autor.

3.2.5 Programação do CLP

Conforme observado na Figura 22, os elementos de entrada de controle do CLP são: controle remoto, *scanner* de segurança e sensores ópticos. Dispondo destes sinais, construiu-se o programa de aplicação para acionamento das saídas no controle do sistema no modo semiautomático. A lógica simplificada, pode ser visualizada no fluxograma na Figura 27:

Figura 27 – Fluxograma simplificado do programa



Fonte: O autor.

Ao ligar o veículo, para que o sistema passe a operar no modo semiautomático, a chave seletora (ligada à uma entrada digital do CLP) precisa estar direcionada de acordo com esta condição. O controlador, ao verificar que o sistema está no modo automático aguarda apenas o sinal do controle remoto para iniciar sua trajetória pelo corredor. No entanto, mesmo que esta condição esteja sendo satisfeita, é necessário que a zona de proteção configurada no *scanner* de segurança esteja livre de obstáculos. Durante a navegação pelo corredor, os três sensores ópticos fazem a leitura do piso. Na situação em que o sensor da direita ou da esquerda detectem a faixa, significa que o carro está em processo de se desalinhar com o corredor, imediatamente o controlador aciona o motor da direção para corrigir o percurso.

O *scanner* de segurança mapeia continuamente o ambiente, enviando o sinal digital à entrada do CLP. Sempre que ocorre a invasão da zona, o *scanner* envia 0V ao CLP que imediatamente toma a ação de acionar o sistema de frenagem da máquina e o sinal sonoro da buzina é emitido para alertar ao operador que existe algum obstáculo na frente do carro. No apêndice A encontra-se o arquivo gerado da lógica construída no CLP.

3.2.6 *Análise do funcionamento da proposta final*

Dentre as melhorias, de imediato se pode citar o fato do CLP ser projetado para funcionar no nível de tensão industrial (24 V), como todos os sensores e dispositivos empregados no projeto, dessa forma eliminou-se a etapa de conversão dos níveis de tensão. Além disso, o CLP já é projetado para suportar as condições severas do ambiente industrial, dessa forma com sua utilização aumenta-se a confiabilidade do sistema.

Outro ponto que merece destaque, foi a disponibilidade imediata do CLP S71200 na empresa, bem como seu *software* de programação. Portanto, em casos de alguma falha este poderia ser facilmente substituído, além de seu processo de manutenção já ser amplamente conhecido pelas equipes da fábrica.

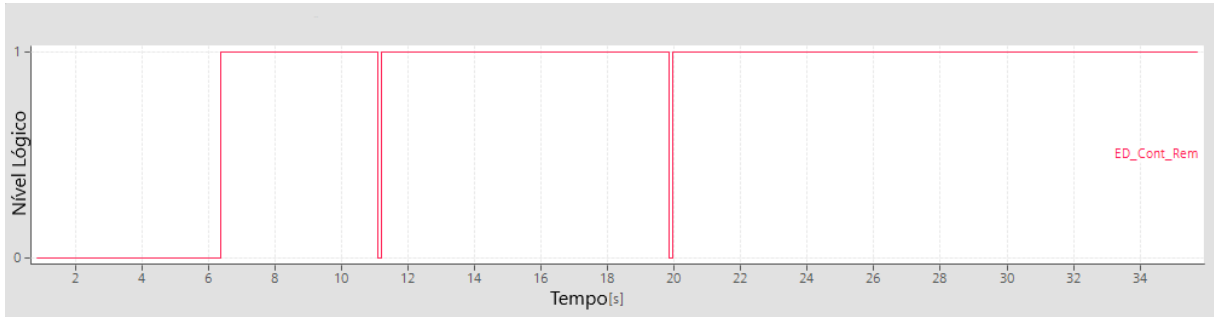
O CLP S71200 utilizado, possui filtros configurados de 6,4 ms em suas entradas digitais. Portanto, mudanças rápidas e indesejadas advindas de ruído elétrico ou do fechamento de contatos mecânicos de dispositivos como os relés eletromecânicos(efeito *bounce* mencionado anteriormente), são eliminadas. Neste caso, transições do estado das entradas com o tempo de duração inferior à 6,4 ms não são identificadas pelo programa.

Ainda de acordo com a (SIEMENS, 2016), as entradas dispõem ainda a opção de serem configuradas através do *software* do step7 para filtros no intervalo de 0,1 us a 20 ms.

Um outro ponto positivo, é praticidade disponibilizada pela SIEMENS através do *software*, para o monitoramento das entradas do CLP. Pois dessa forma, o processo de identificação de falhas é mais ágil.

Durante a etapa de testes no funcionamento, observou-se que acionar o veículo pelo controle remoto, mesmo pressionando continuamente o botão do controle do módulo de radiofrequência, o sistema de acionamento do freio acionava algumas vezes durante esse intervalo de tempo. Para monitorar esse acontecimento, utilizou-se a ferramenta *trace* do *software Tia Portal* para capturar o estado da entrada do CLP ao qual a saída do relé do módulo RF estava conectada. Na Figura 28 encontra-se esse registro.

Figura 28 – Entrada Digital Controle Remoto

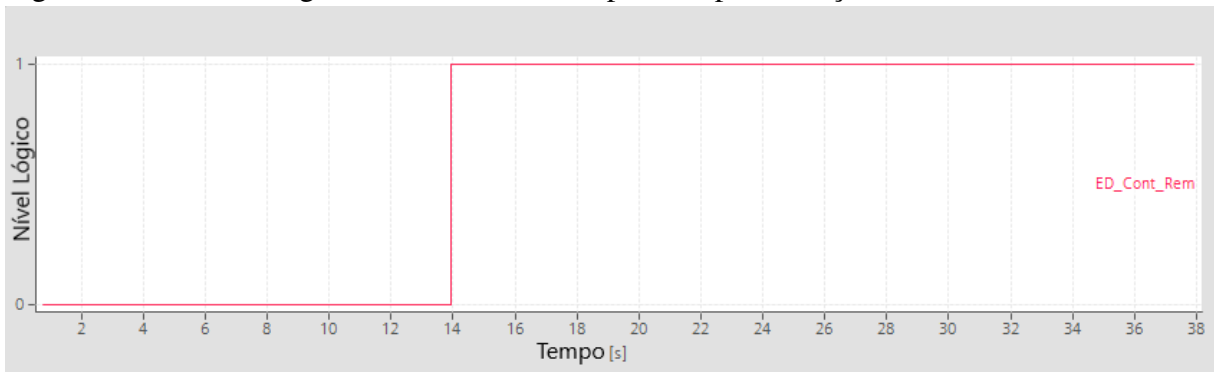


Fonte: O autor.

Identificou-se, portanto, que durante o acionamento prolongado do controle remoto, de fato, ocorriam bordas negativas da saída a relé do módulo receptor. Esses acontecimentos estavam sendo interpretados pelo programa de aplicação como desligamentos do controle remoto.

Ao analisar os gráficos cuidadosamente, constatou-se que essa borda negativa durava em média, um período de 100 ms. Para corrigir essa falha que estava ocasionando do acionamento do freio repetidas vezes, adicionou-se à programação do CLP um filtro para identificar essas bordas negativas de curta duração. Ao implementar o filtro, o gráfico capturado pelo CLP S71200 encontra-se na Figura 29.

Figura 29 – Entrada Digital Controle Remoto após a implementação do filtro



Fonte: O autor.

4 RESULTADOS

4.1 Comparação entre os processos

Conforme mencionado, a análise partiu do processo de transporte de materiais produzidos ao centro de expedição. Neste caso, o processo de transporte constitui-se das seguintes etapas: abastecimento dos quatro vagões do rebocador com caixas vazias, transporte dessas ao corredor dos componentes produzidos, abastecimento de pilhas de seis caixas vazias para cada injetora, abastecimento do vagão com pilhas de caixas de componentes coletados nas injetoras (em paralelo com processo anterior), transporte dos vagões coletados para o centro de expedição e posterior reinício do ciclo.

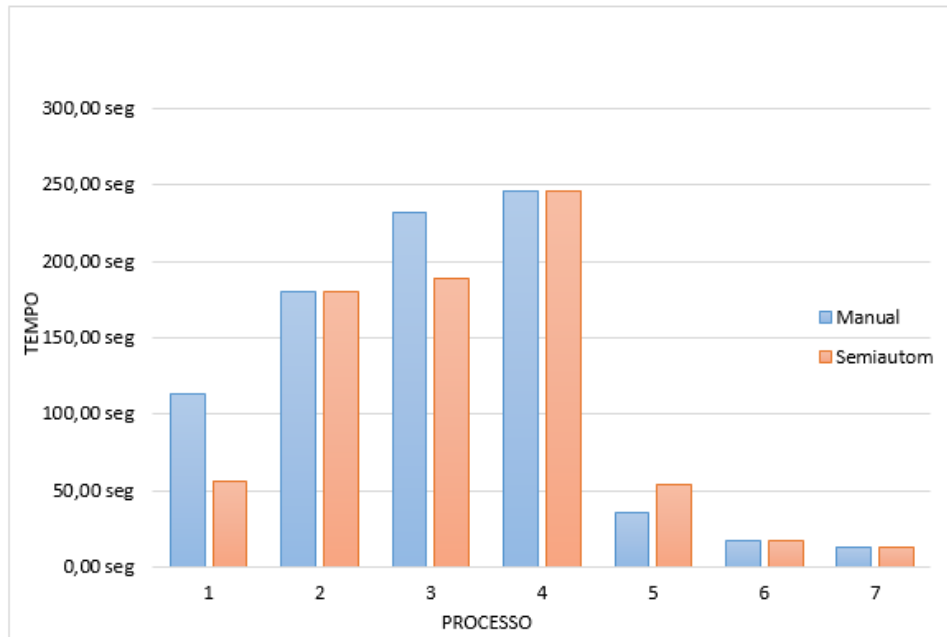
O corredor de operação possui 100 m de comprimento, portanto para atender às máquinas dispostas dos dois lados do corredor, o operador precisa realizar paradas ao longo de todo percurso. Para avançar o carro durante o percurso, o operador retorna ao veículo.

De acordo com os dados coletados pela equipe de Engenharia e Qualidade da empresa, para a realização do percurso completo de transporte de componentes para o setor de expedição na fábrica, o operador leva 13,95 min. Esse tempo refere-se à condição de produção plena, que se reflete, portanto, a condição de que o operador realiza um menor número de paradas para completar os vagões, uma vez que todas as máquinas estarão fornecendo as pilhas de caixa constantemente. Para esta situação o operador realiza um total de 4 paradas.

O processo de parada divide-se no tempo que o operador leva para embarcar e desembarcar do veículo. O tempo necessário para a atividade é em média de 18,86 s, portanto, eliminando as paradas intermediárias no processo, uma vez que o operador irá apenas necessitar desembarcar durante o início do processo e embarcar ao final, o tempo do percurso reduziu para 12,59 min. Além disso, esse valor tende a ser maior em épocas de produção mais baixa, pois o número de paradas no corredor irá aumentar. Para a situação em que o operador necessite parar 7 vezes no corredor, com base nos dados dispostos na tabela em anexo B, o sistema otimizaria 15% do tempo do operador.

No gráfico da Figura 30, encontra-se a comparação entre o tempo gasto na operação com o rebocador convencional(manual) e com rebocador modificado(semiautomático). A base de dados utilizada refere-se ao anexo B.

Figura 30 – Comparação de tempo entre os processos

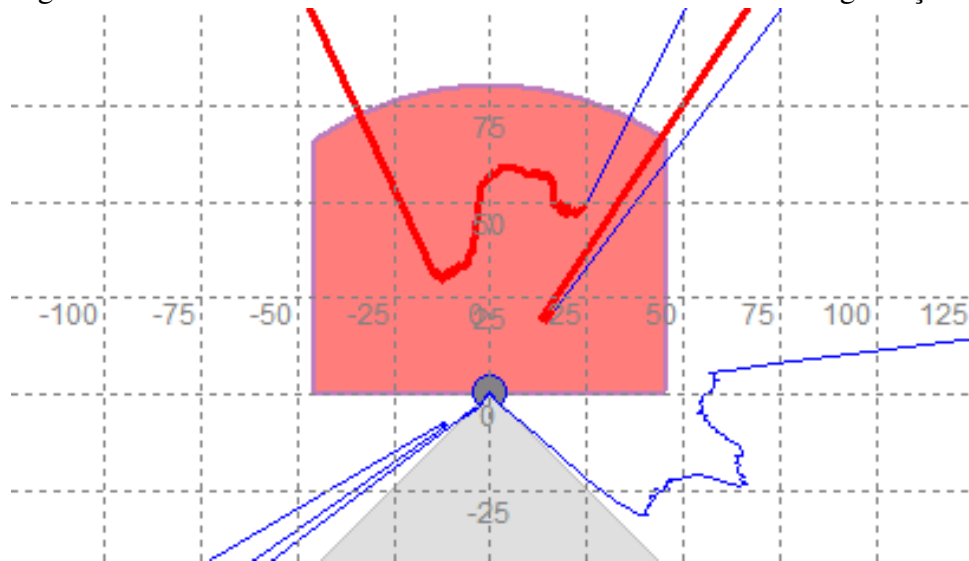


Fonte: O autor.

4.1.1 Análise da atuação do scanner de segurança

Durante o processo, o *scanner* foi submetido à alguns testes para validar sua atuação. O *software* disponibilizado pelo fabricante dispunha da opção de monitoramento *online* na qual é possível observar em tempo real à zona de proteção. Os testes realizados consistiram em analisar a reação do *scanner* na detecção de obstáculos. Na Figura 31, é possível verificar uma das situações que há um objeto infringindo a área de varredura no *scanner* configurado como zona de proteção.

Figura 31 – Leitura *online* da área de varredura do *scanner* de Segurança



Fonte: O autor.

Para todas as situações impostas durante a fase de testes, o *scanner* respondeu de forma satisfatória, enviando nível lógico baixo (0 V) ao controlador para impedir o acionamento do motor de tração de veículo.

Além disso, as condições de funcionamento com o rebocador em movimento foram testadas. Como o tempo de resposta do dispositivo para esta aplicação é de 80 ms, para as situações em que ocorram o avanço abruptos de obstáculos na frente do veículo o sistema de frenagem é atuado em tempo hábil. Ao contrário do que acontece com a operação manual do sistema, em que o operador leva um maior tempo entre visualizar a situação para de fato realizar a tomada de decisão para acionamento do freio do veículo.

4.2 Análise do comportamento do motor da direção

Durante a partida do motor da direção, alimentado em 24 V, observou-se a propagação de uma queda na tensão de alimentação. A partir de medidas realizadas no multímetro, os valores dessas quedas chegavam a ser de até 5 V. Esse acontecimento pode ser explicado a partir da equação 2.3, obtida conforme o circuito equivalente da Figura 11. Isolando a corrente de armadura:

$$I_A = \frac{V_t - E_A}{R_A} \quad (4.1)$$

Imediatamente na partida (motor em repouso), a tensão induzida é nula, portanto a

corrente de armadura será:

$$I_A = \frac{V_t}{R_A} \quad (4.2)$$

Como a resistência de armadura apresenta um valor muito baixo, a corrente durante a partida direta é muito alta, como consequência, há uma queda de tensão na alimentação do motor.

Na prática, a corrente de partida pode atingir valores de dez à vinte vezes a corrente nominal à plena carga do motor. No entanto, esse valor elevado de corrente permanece por um pequeno intervalo de tempo, pois as grandes forças atuantes nos condutores da armadura produzem um elevado torque de partida e uma consequente aceleração rápida da armadura. À medida que a velocidade aumenta, a tensão gerada irá aumentar e consequentemente, de acordo com a expressão 4.1, a corrente na armadura tenderá a diminuir. O motor nesta situação, continuará a acelerar até atingir sua velocidade nominal, ainda que a corrente de armadura continue diminuindo. (WIRDI, 2002)

4.3 Análise do comportamento do sistema de navegação

Durante a fase de implantação do projeto na fábrica para a etapa de testes, a faixa foi disposta no corredor de operação do rebocador. Por encontrar-se no estoque da fábrica, a faixa utilizada foi a mesma que é utilizada para demarcações de *layout*. Observou-se que apenas em um intervalo de poucos dias, esta faixa encontrava-se severamente desgastada, comprometendo a confiabilidade do sistema de controle da direção. Na Figura 32, observa-se o desgaste da faixa após poucos dias da sua disposição no chão de fábrica.

Figura 32 – Faixa de navegação do rebocador



Fonte: O autor.

O sistema de navegação guiado por faixa utilizado demonstrou ser um gargalo para o projeto. Isso se deve ao fato do fluxo intenso de pessoas no local de circulação do rebocador. Além disso, a faixa utilizada, não possuía nenhuma característica adicional para atender as condições da indústria. Comumente as caixas e demais componentes são arrastados sobre o chão, o que contribui significativamente para o desgaste da faixa, seja retirando-a ou ainda acumulando sujeira sobre sua superfície, o que dificulta a leitura dos sensores.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Através da abordagem do projeto, reforçou-se a importância do processo de automatização para atingir melhorias no processo de produção, reduzir custos, desperdícios de mão de obra, melhorias substanciais na ergonomia e segurança da atividade. Para o processo exemplificado, o operador economizou 10% do tempo de operação. Contudo, essa análise partiu da situação de plena produção, no qual o número de paradas ao longo do corredor é mínima. Na medida em que o número de paradas aumenta, o ganho tende a ser superior, uma vez que independente do número de paradas, no sistema semiautomático o operador embarca e desembarca do veículo apenas uma vez durante todo corredor. Em contrapartida, no processo sem automação, conforme o número de paradas aumenta, aumenta-se o desperdício de tempo.

Do ponto de vista técnico, o projeto necessita de modificações para replicação. Um ponto essencial a ser modificado é a adoção de um mecanismo para reduzir a corrente de partida do motor da direção, para evitar as ocorrências citadas de queda de tensão que são nocivos ao sistema de controle e ao próprio motor de corrente contínua.

Além disso, verificou-se que no ambiente industrial o uso do sistema de navegação por leitura da faixa não é o mais indicado, pois o seu desgaste é intenso e acelerado. Nesta situação, apresenta-se necessário a mobilização de algum colaborador para verificação contínua do estado da faixa. Portanto, sugere-se a utilização de fio-guia. Neste sistema, o direcionamento do veículo será realizado através da leitura de trilhas com laços indutivos dispostos no solo da fábrica, sendo então necessário, equipar o rebocador elétrico com antenas indutivas, que serão utilizadas para controle do sistema de direção elétrica. Essa medida eliminará retrabalhos com o processo da fixação da faixa, além de aumentar a confiabilidade do sistema de navegação.

Por fim, como proposta futura sugere-se também, a integração do projeto ao sistema de monitoramento em tempo real da fábrica. Considerando que para implementação do projeto, foi utilizado o CLP SIMATIC S71200, que possui uma porta de comunicação PROFINET integrada, é possível utilizar soluções de supervisório SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition), com elipse, por exemplo. Pois dessa forma, consegue-se aferir a produtividade do operador e facilita o monitoramento de falhas do sistema em tempo real, agilizando seu processo de manutenção.

REFERÊNCIAS

- BEISE, M. **Automação Industrial Aliada à Produção Enxuta: Caminhos Para Melhoria e Otimização de Processos**. 2016.
- CONTRINEX. **Sensores de proximidade, indutivos, fotoelétricos e ultrasônicos**. [S.l.], 2006.
- FITZGERALD, E. **Máquinas Elétricas**. 7. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2014.
- FOROUZAUN, B. A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 4. ed. [S.l.]: MC Graw Hill, 2008.
- GEORGINI, M. **Automação aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs**. 9. ed. [S.l.]: Érica, 2012.
- LEVITT, J. **Lean Maintenance**. 1. ed. [S.l.]: Industrial Press Inc., 2008.
- MCROBERTS, M. **Arduíno Básico**. 1. ed. [S.l.]: Novatec, 2011.
- MIYOSHI, E. M. **Projeto de Sistemas Rádio**. 4. ed. [S.l.]: Érica Ltda, 2012.
- OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. [S.l.]: Bookman, 1997.
- OLIVEIRA, A. S. de. **Sistemas embarcados: hardware e o firmware na prática**. 2. ed. [S.l.]: Érica, 2010.
- PAREDE, I. M. **Eletrônica Automação industrial**. 1. ed. [S.l.]: Fundação Padre Anchieta, 2011.
- RIBEIRO, M. A. **Fundamentos da automação**. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2003.
- SEN, P. C. **Principles of electric machines and power electronics**. 2. ed. [S.l.]: John Wiley Sons, 1996.
- SICK. **S300 Mini**. [S.l.], 2016.
- SIEMENS. **S7-1200 Programmable controller**. [S.l.], 2016.
- SOUZA, N. **Apostila de acionamentos elétricos**. 2009. IFRN.
- TANENBAUM, A. S. **Computer Networks**. 4. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2003.
- TORO, V. D. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 1. ed. [S.l.]: LTC, 1990.
- VIEIRA, C. L. de O. **Aprenda Arduíno: Uma abordagem prática**. [S.l.]: Prentice Hall, 2018.
- WIRDI, T. **Electrical machine, drives, and power systems**. 5. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2002.

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Rebocador_Semiautomatico_Tia_V9_[40] / Rebocador_Semiautomatico [CPU 1212C DC/DC/DC] / Program blocks

Navegacao_Faixa [FC1]

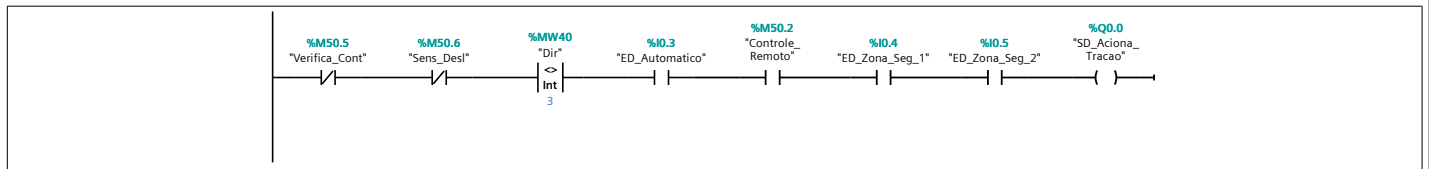
Navegacao_Faixa Properties

General							
Name	Navegacao_Faixa	Number	1	Type	FC	Language	LAD
Numbering	Automatic						
Information							
Title		Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

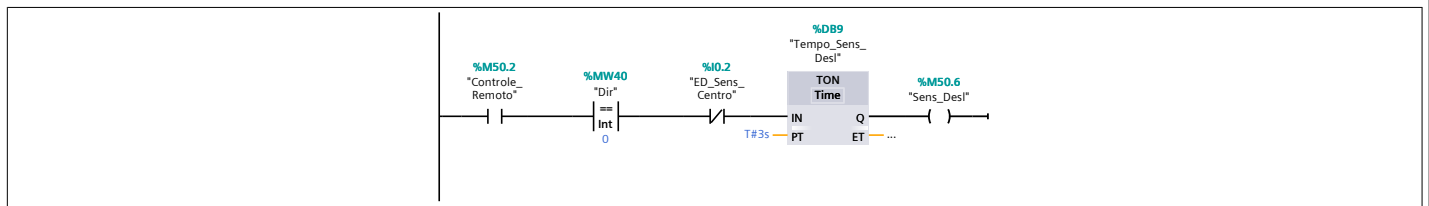
Navegacao_Faixa

Name	Data type	Default value	Supervision	Comment
Input				
Output				
InOut				
▼ Temp				
awd	Bool			
asd	Bool			
Constant				
▼ Return				
Navegacao_Faixa	Void			

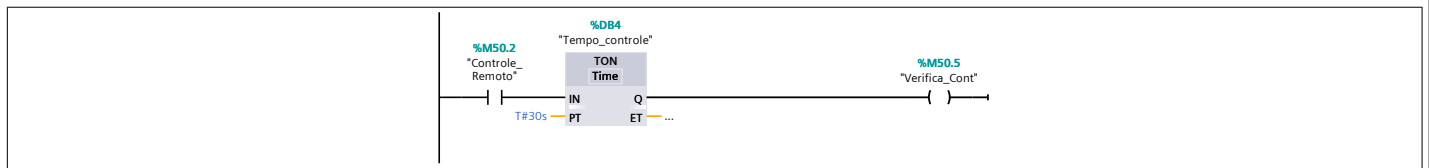
Network 1: Acionamento do motor de tração



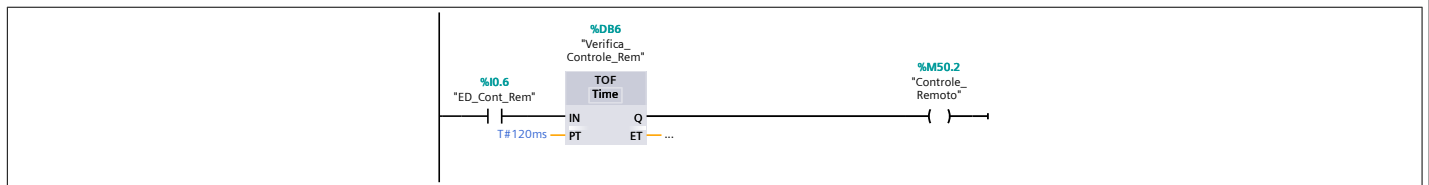
Network 2: Desliga após 5s que sair da rota



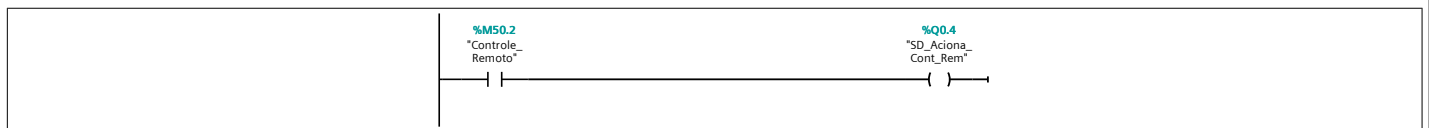
Network 3: Segurança no acionamento do controle remoto



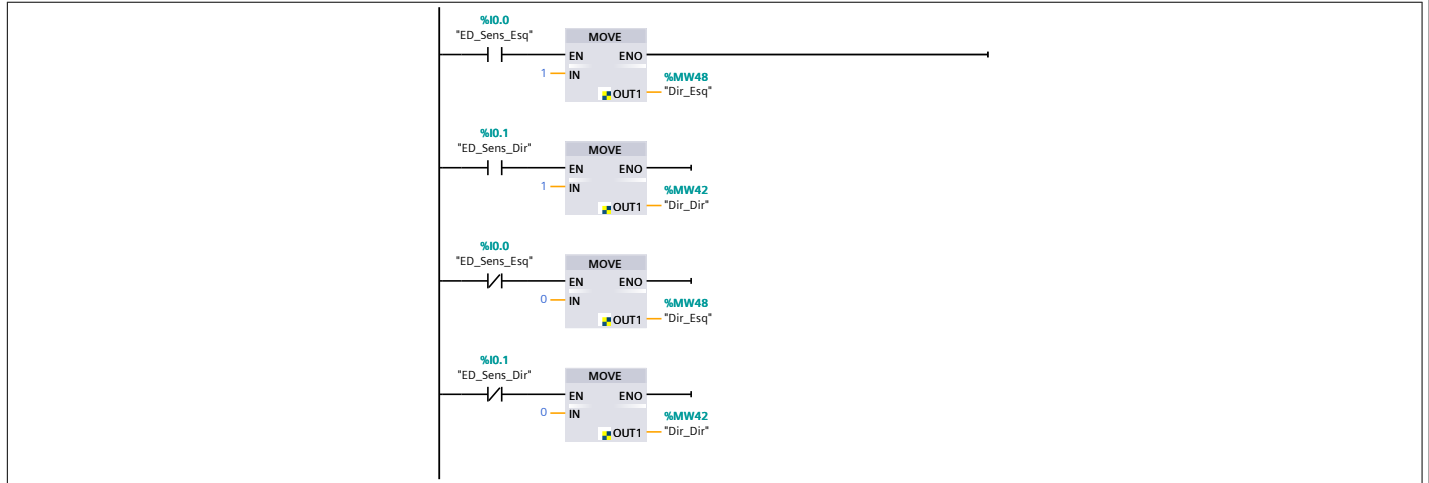
Network 4: Filtro na leitura do receptor do módulo de radiofrequência



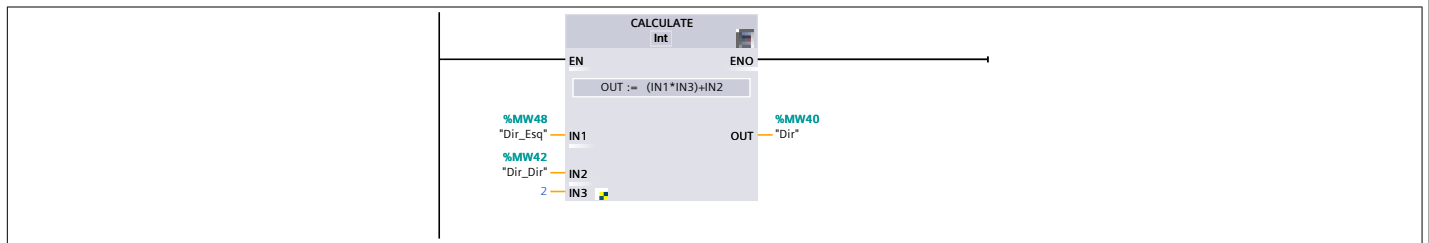
Network 5: Acionamento do controle remoto



Network 6: Leitura dos sensores fotoelétricos



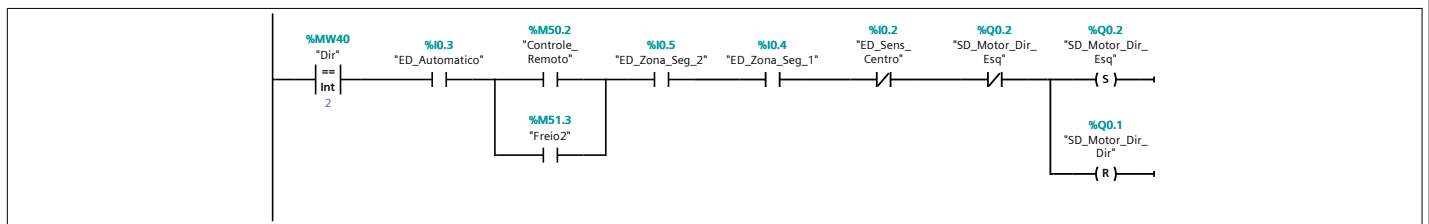
Network 7: Cálculo da variável que será utilizada para direcionar a direção elétrica



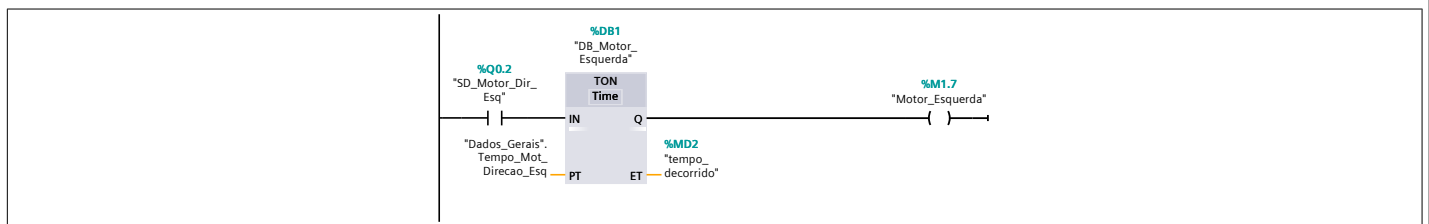
Network 8: Desliga a rotação do motor da direção



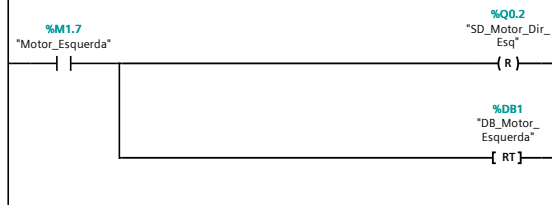
Network 9: Direciona o motor para a esquerda



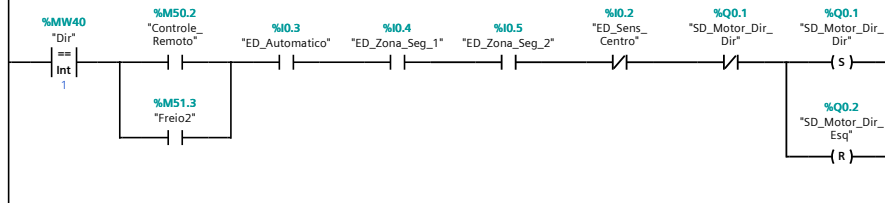
Network 10: Tempo de acionamento do motor para a esquerda



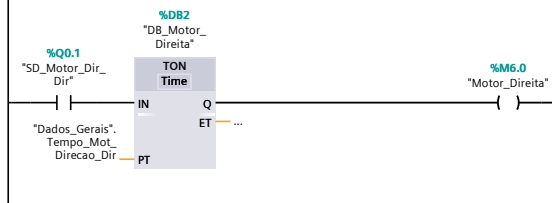
Network 11: Desliga a saída que direciona o motor para esquerda após o tempo configurado



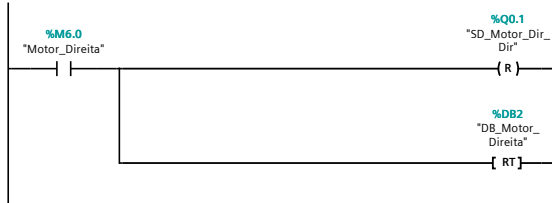
Network 12: Aciona o motor para a direita



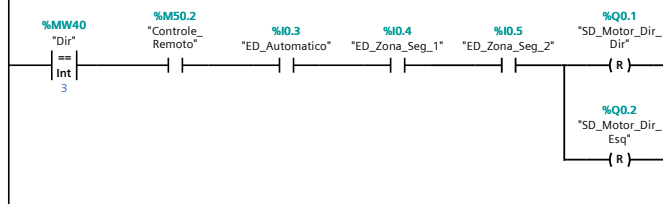
Network 13: Tempo de acionamento do motor para a direita



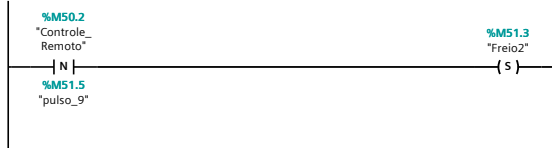
Network 14: Desliga a saída que direciona o motor para direita após o tempo configurado



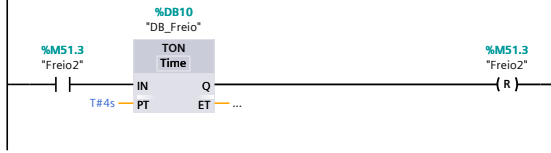
Network 15: Desliga o motor da direção quando os dois sensores fotoelétrico estiverem acionados



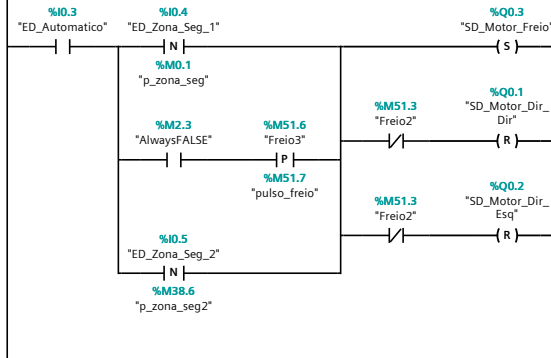
Network 16: Aciona a variável Freio2 que é utilizada para manter a correção da direção 4s após o controle ser desligado (temp o que o carro leva para parar)



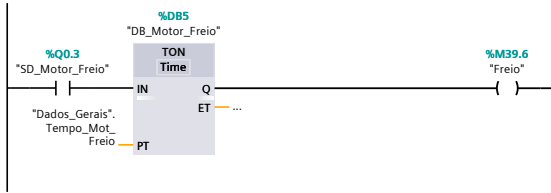
Network 17: Reseta a variável Freio2 após 4s



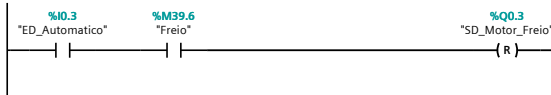
Network 18: Condições para o acionamento do freio do carro



Network 19: Temporizador do acionamento do motor do Freio2

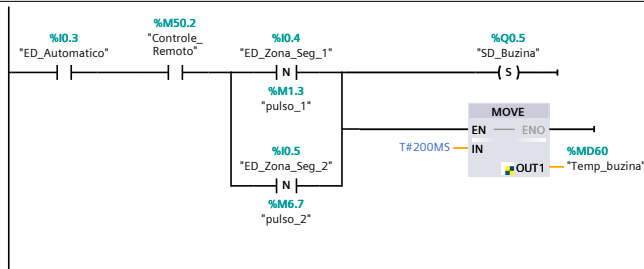


Network 20: Desliga o freio

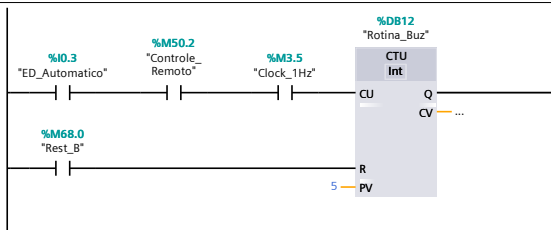


Network 21: Liga a buzina

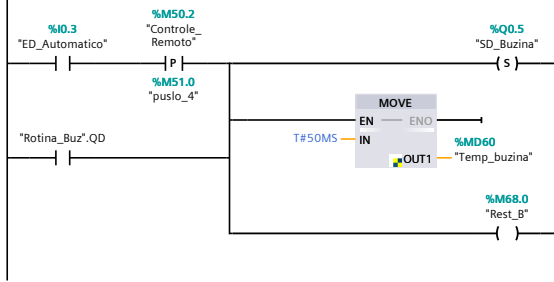
Aciona a buzina quando o rebocador está no modo remoto e a zona de segurança é infringida a buzina é acionada



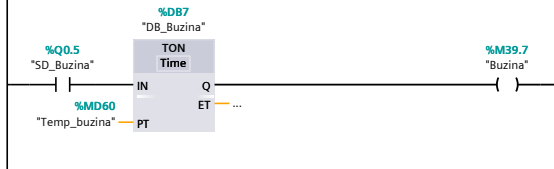
Network 22: Acionamento cíclico da buzina a cada 5s



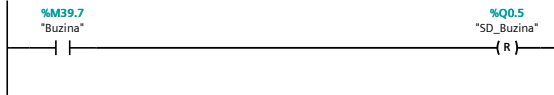
Network 23: Acionamento da buzina sempre que o controle é ligado



Network 24: Temporizador da buzina



Network 25: Desliga a buzina



APÊNDICE B – CONFIGURAÇÃO DO SCANNER DE SEGURANÇA

SICK Configuration & Diagnostic Software

S300 Mini Laserscanner Configuration draft
(COM1)

Contents

1. Configuration draft S300Mini [H] from 14/06/2019, 12:24.....	3
1.1. Version information.....	3
1.2. General information.....	3
1.3. System parameters.....	3
1.4. Resolution/scanning range.....	3
1.5. Universal I/O.....	3
1.6. OSSDs.....	4
1.7. Restart.....	4
1.8. Cases.....	4
1.8.1. <i>Monitoring case 1</i>	4
1.9. Field sets.....	4

1. Configuration draft S300Mini [H] from 14/06/2019, 12:24

S300Mini [H] Laser scanner



1.1. Version information

Version number CDS	3.7.2.122
Software version DLL	3.7.2.122
Created with CDS	3.7.2

1.2. General information

Type code	S32B-2011BA
Device name	S300 H
Serial number	19050548
Sensor head	Medium Range (2,0 m)
I/O module	Standard

Safety Configuration ID (SCID)	0x3D53
--------------------------------	--------

Status	in testing
--------	------------

1.3. System parameters

Name of the user	Default
Application name	Reboc Semiautomatico
Rotation 7 Segment	Rotated 0°

1.4. Resolution/scanning range

Application variant	Mobile
Resolution protective field	70mm (leg detection)
Basic response time	80 ms
Maximum protective field range	200 cm
Angular resolution	0,5 °

1.5. Universal I/O

	Universal I/O 1 (Pin3)	Universal I/O 2 (Pin4)
Inputs stand by	x	-

Reset	-	-
External device monitoring	-	-
Outputs		
Error	-	-
Contamination warning	-	-
Contamination error	-	-
2nd Warning field	-	X
Reset required	-	-



1.6. OSSDs

Object in the protective field switches OSSDs	Local
External device monitoring	Inactive

1.7. Restart

Restart internal OSSDs	Delay by 2 s
------------------------	--------------

1.8. Cases

Number of monitoring cases	1
----------------------------	---

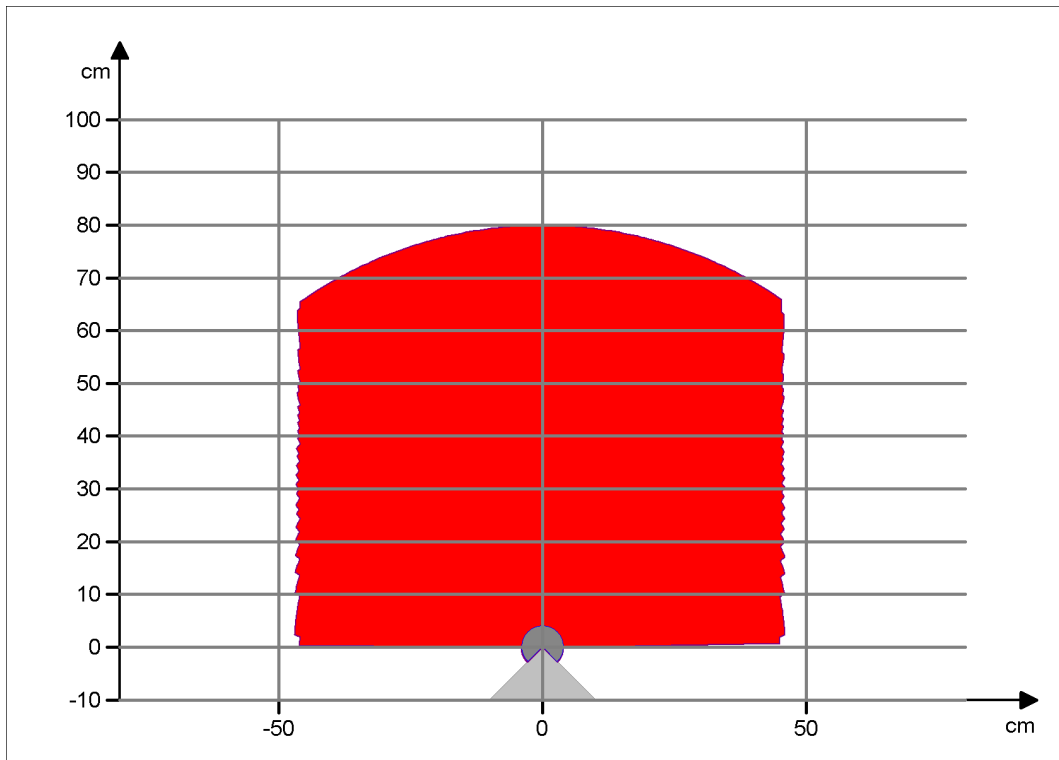
1.8.1. Monitoring case 1

Name of monitoring case	Case 01
Park mode	Inactive
Allocated field set	Zona de Protecáo
Multiple sampling	2

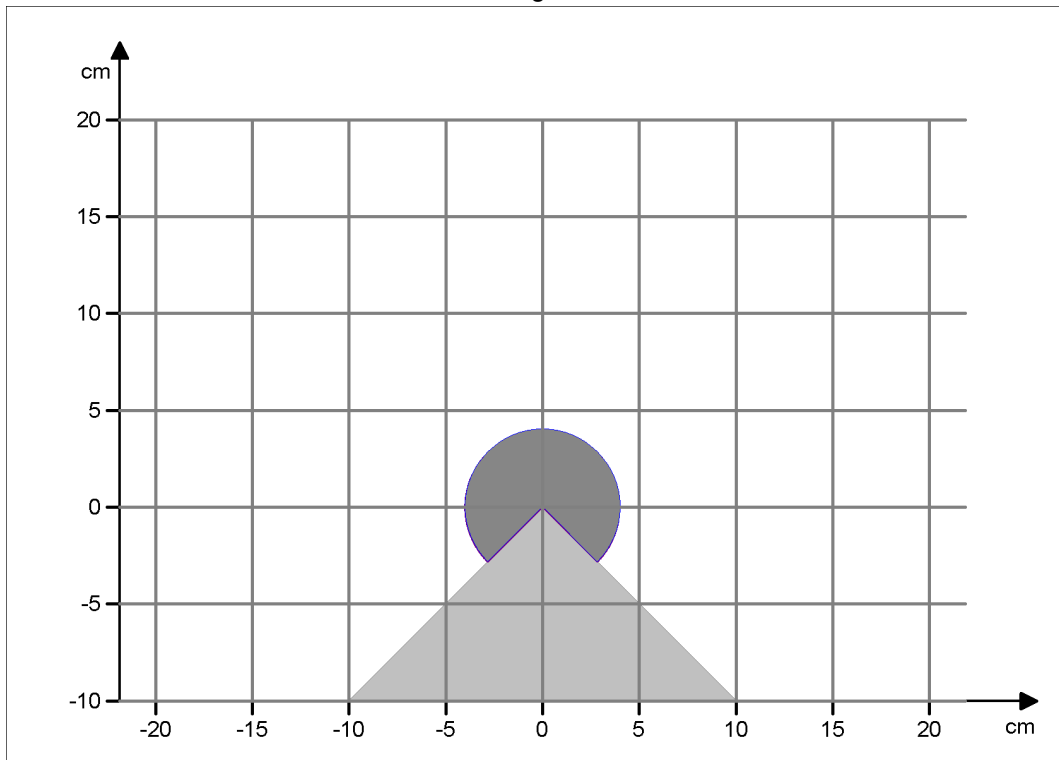
1.9. Field sets

Number of field sets	1
----------------------	---

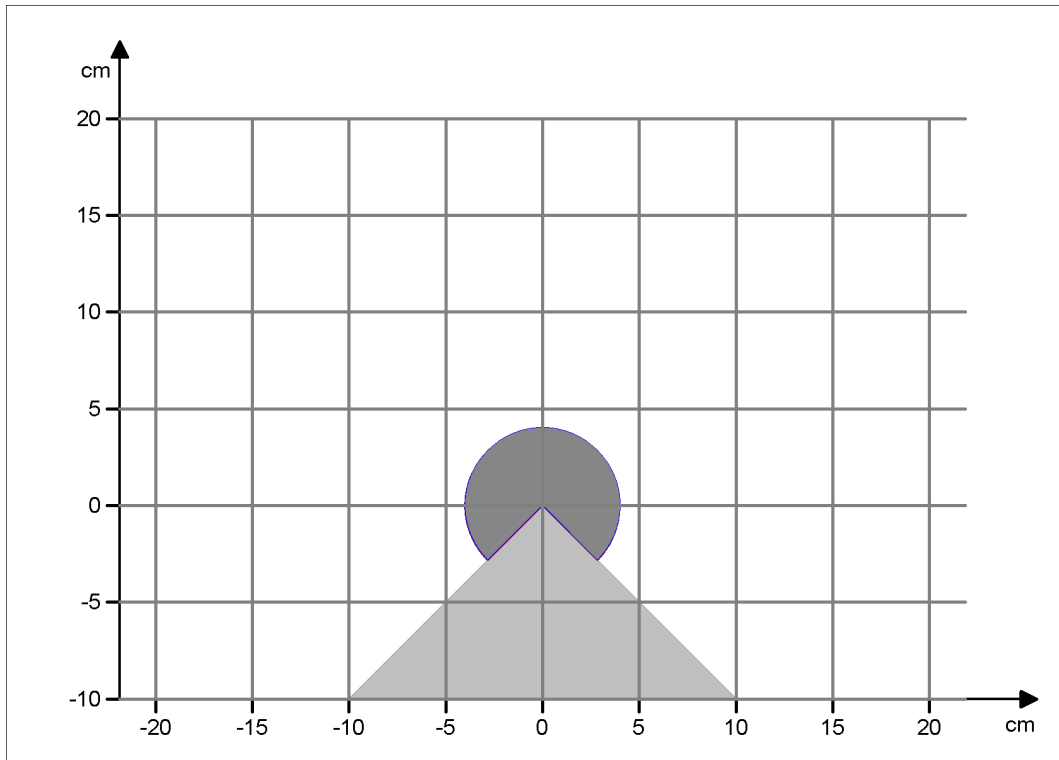
Field set 1 "Zona de Protecao"
Protective field



Warning field 1

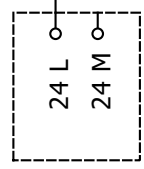


Warning field 2



APÊNDICE C - ESQUEMA ELÉTRICO

A B C D E F G H



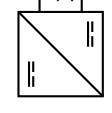
Alimentação
Bateria
24 V



24 L

D1

24 L1



Conversor DC/DC

12 L

12 V

12 M

D2

12 L1

Disjuntor Monopolar
10 A



24L1

Vem da posição de Ré

310

13 21

14 22

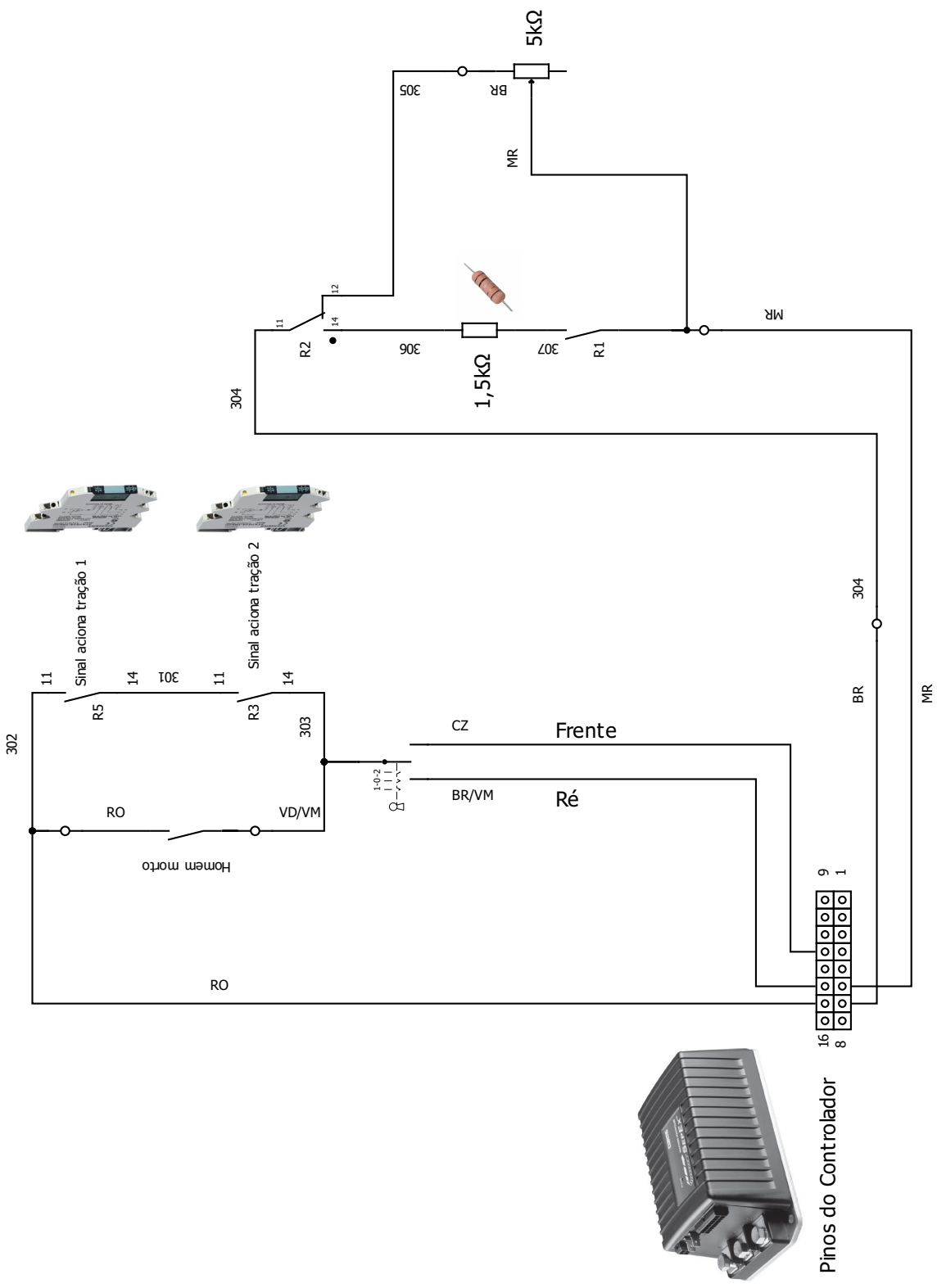
311

VD/PR

Vai para I0.3



Chave seletora modo
manual e automático



Pinos do Controlador

A

B

C

D

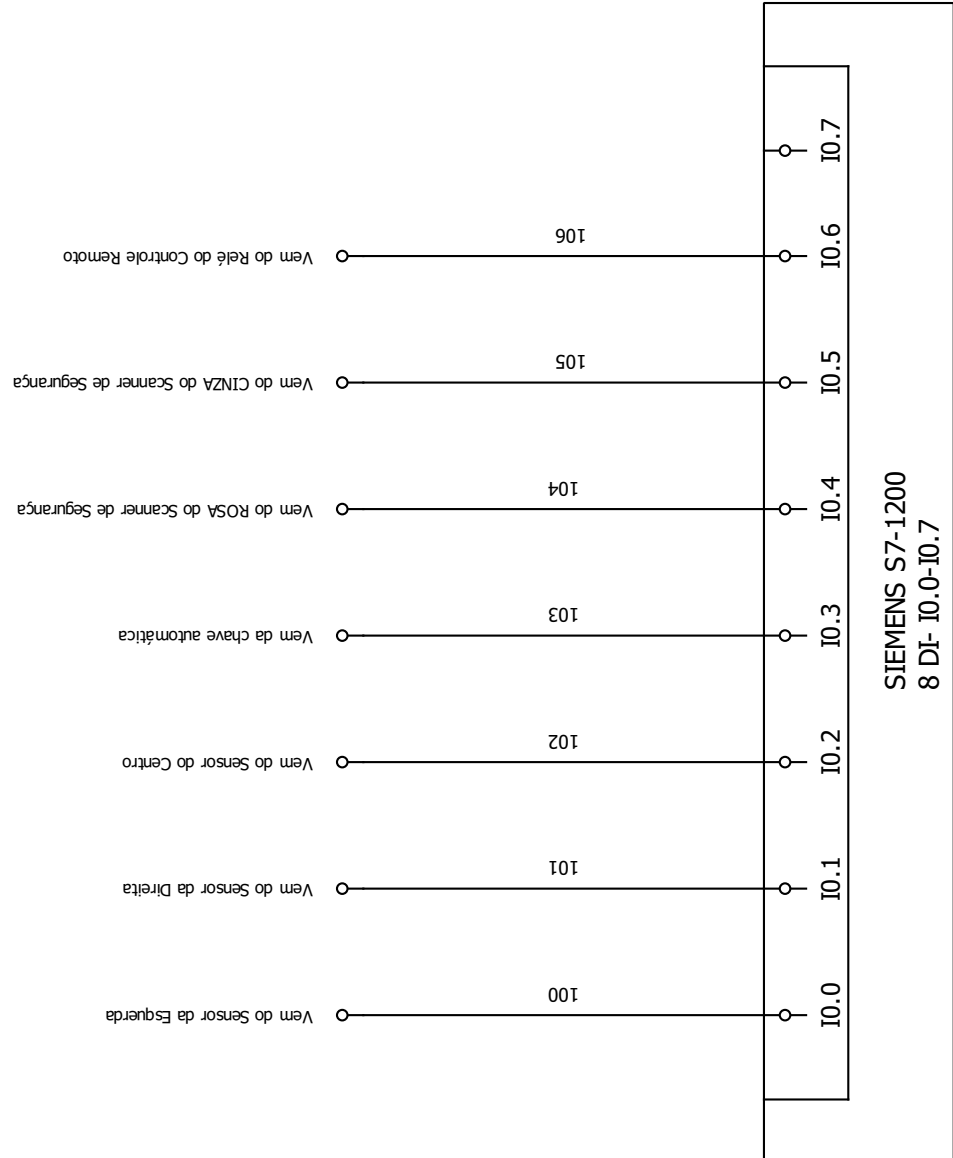
E

F

G

H

DI-CLP



Autor : Iara Barbosa

Data :

Entradas do CLP

Ficheiro :

Folha : 3/6

A

B

C

D

E

F

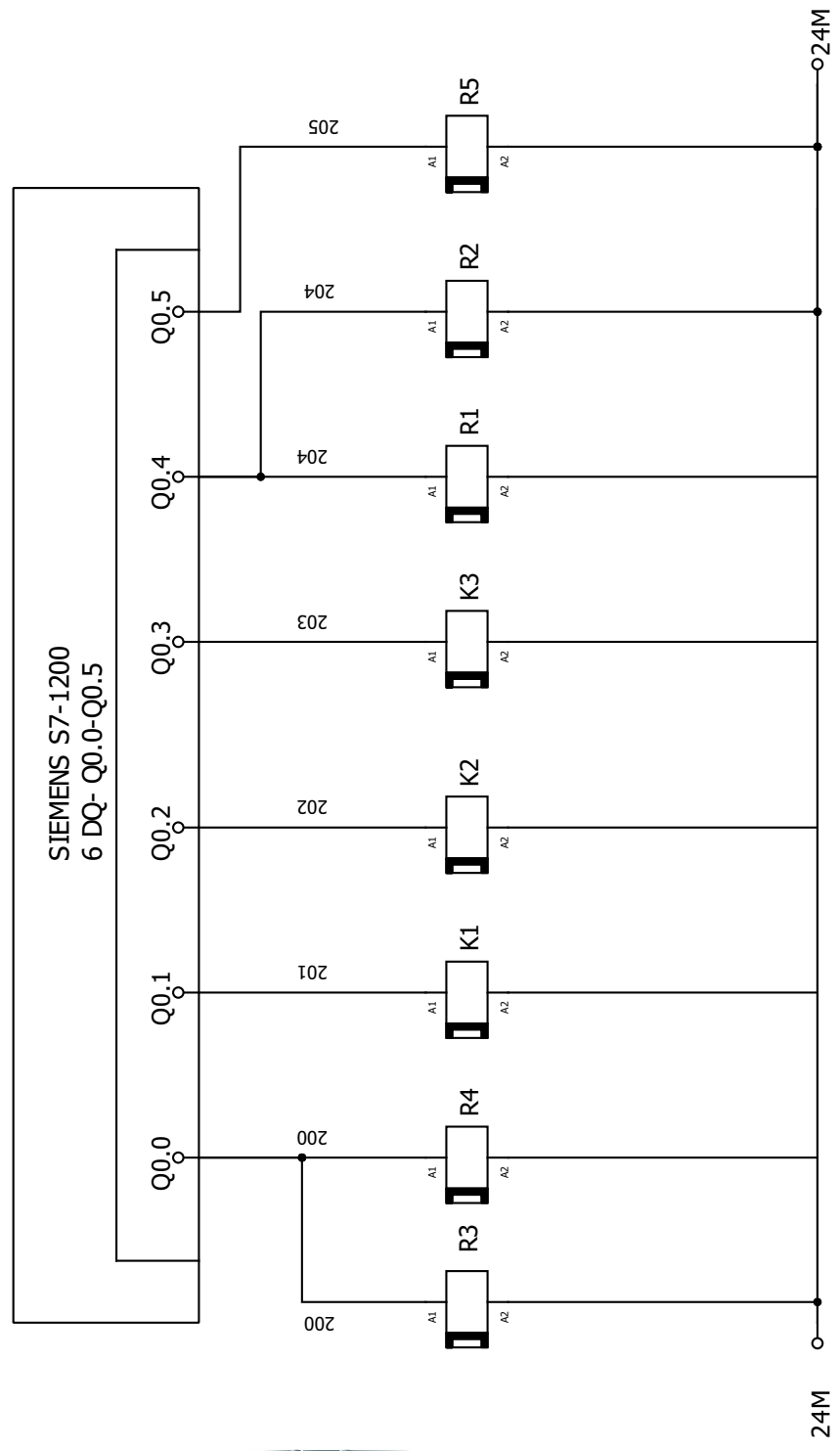
G

H

DQ-CLP



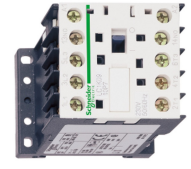
SIEMENS S7-1200
6 DQ-Q0.0-Q0.5



Relé de Interface
Siemens



Contatora 24Vcc



A

B

C

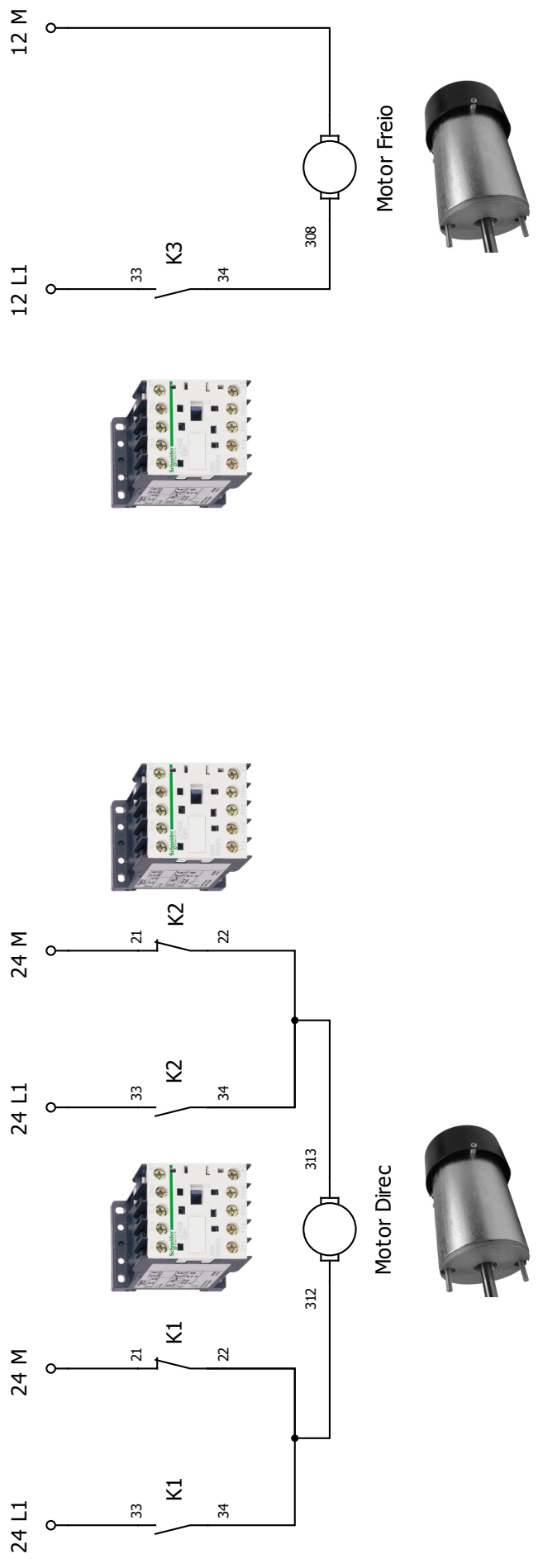
D

E

F

G

H



Autor : Iara Barbosa

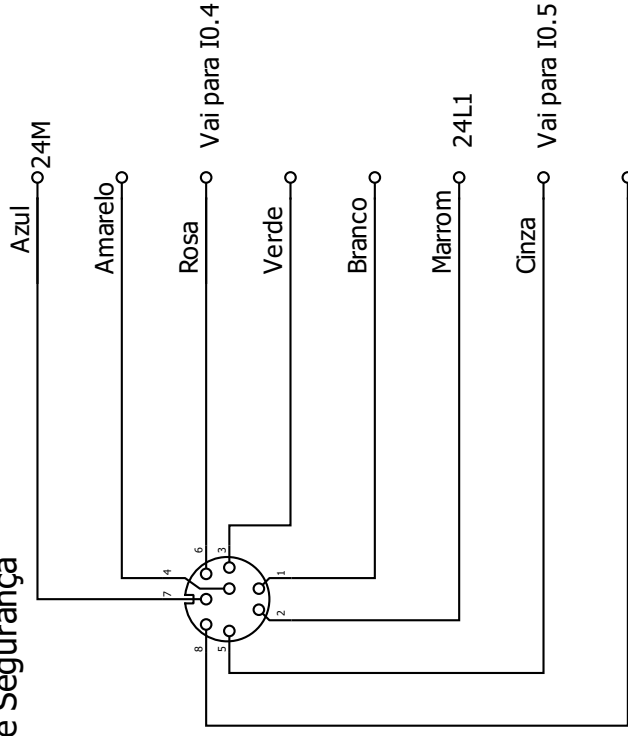
Data :

Acionamento da direção elétrica e motor do freio

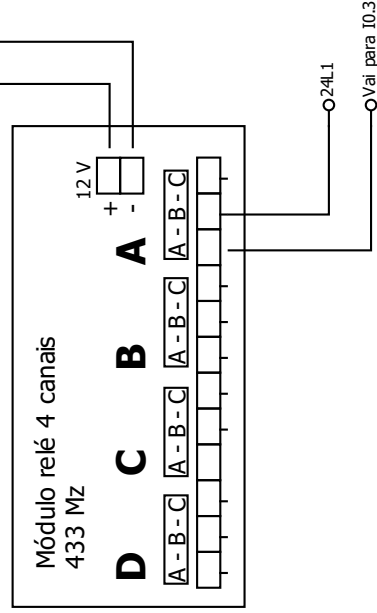
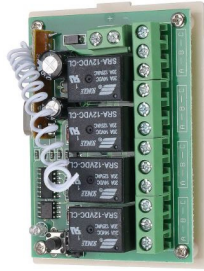
Ficheiro :

Folha : 5/6

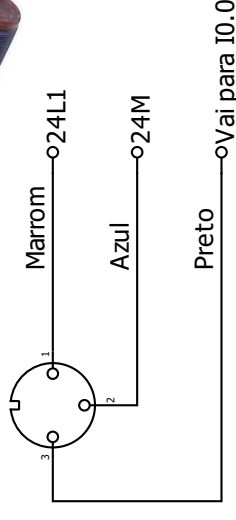
Scanner de Segurança S300 Sick



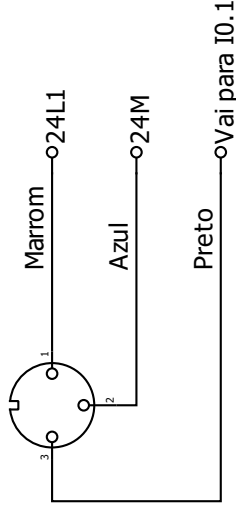
Módulo RF 433,92 MHz



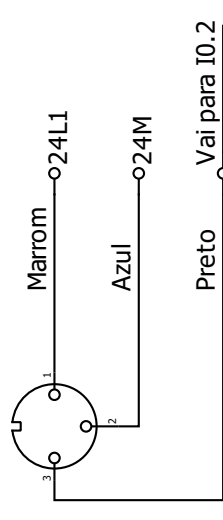
Sensor Fotoelétrico Telemecanique



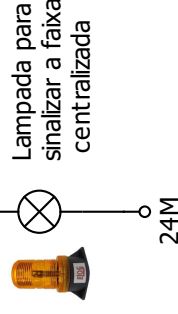
Sensor Esquerda



Sensor Direita



Sensor Centro



ANEXO A - CANVAS DO PROJETO

PROJETO				
JUSTIFICATIVA (PASSADO)	PRODUTO	STAKEHOLDER (FATORES EXTERNOS)	PREMISSAS	RISCOS
No processo atual de recolhimento de caixas plásticas com rebocador elétrico, o operador gasta cerca de 22% do seu tempo realizando o movimento de embarque e desembarque do veículo.	Kit de retrofit composto pelos seguinte itens: 1- Scanner de segurança para detecção de obstáculos. Utilizado para evitar colisões e correção da rota; 2- Sistema de controle elétrico da direção; 3- Sistema de acionamento automático do motor do rebocador 4- Link de radiofrequência para acionamento remoto	1. Fornecedor do motor da direção 2. Fornecedor do kit de transmissão da direção 3. Fornecedor do scanner de segurança 4. Fornecedor dos componentes de radiofrequência 4. Fornecedor dos componentes elétricos	1- Scanner laser com uma saída de segurança e duas saídas auxiliares; 2- Motor da direção 3- Controle remoto	1- Falha no sistema de segurança, provocando o desligamento do sistema 2- Atraso na entrega dos materiais requisitados
OBJETIVO SMART		EQUIPE (SUBORDINADOS E QUE REALIZAM ENTREGAS)	GRUPO DE ENTREGAS	LINHA DO TEMPO
Reduzir o desperdício de tempo da operação de embarque e desembarque do rebocador elétrico.	REQUISITOS (CARACTERÍSTICAS)	1. Suprimentos; 2. Engenharia Manufatura; 3. Gestão da Inovação; 4. Segurança; 5. Produção/Logística.	1- Análise financeira 2- Consulta de mercado 3- Viabilidade técnica 4- Construção do canvas 5- Requisição do material 6- Elaboração do cronograma 7- Adaptação mecânica e montagem elétrica 8- Validação do protótipo na fábrica de inovação	Previsão de entrega do retrofit dos rebocadores dia 22 de abril de 2019
BENEFÍCIOS (FUTURO)	1- Scanner laser com uma saída de segurança e duas saídas auxiliares. A saída de segurança deve ser utilizada para parada de emergência e as auxiliares para navegação; 2- O controle remoto via radiofrequência de uso simplificado. Comando de botão único (pressione para seguir).	RESTRIÇÕES (LIMITAÇÕES DO PROJETO)		CUSTOS
1- Otimização da utilização do tempo do operador; 2- Redução de MOD; 3- Aumento da segurança do processo;		1- O piloto automático só pode ser acionado nas retas 2- O piloto automático não desvia de obstáculos		R\$ 8.895,00 (piloto)

ANEXO B – TEMPOS DO PROCESSO

REBOCADOR (MANUAL)

PROCESSO	DESCRIPTIVO	QTD	FREQ.	TEMPO TOTAL	
1	Uso de cabine... subir / descer	1	6	18,86 seg	113,18 seg
2	Rota do rebocador	1	1	180,03 seg	180,03 seg
3	Abastecer pilha de caixa vazia	1	4	58,00 seg	232,01 seg
4	Empilhar pilha de caixas no vagão	1	4	61,53 seg	246,10 seg
5	Percurso - Corredor	1	3	11,84 seg	35,52 seg
6	Descarregar vagão - Troca de sistema)	1	1	16,91 seg	16,91 seg
7	Colocar kit de vagão no rebocador	1	1	12,95 seg	12,95 seg
Tempo / giro					13,95 min
Caixa/h					413

*Dados obtidos do processo de transporte de componentes produzidos ao setor de expedição em um dos processos da fábrica (operação com rebocador convencional)

REBOCADOR (SEMIAUTOMÁTICO)

PROCESSO	DESCRIPTIVO	QTD	FREQ.	TEMPO TOTAL	
1	Uso de cabine... subir / descer	1	3	18,86 seg	56,59 seg
2	Rota do rebocador	1	1	180,03 seg	180,03 seg
3	Abastecer pilha de caixa vazia	1	4	47,21 seg	188,85 seg
4	Empilhar pilha de caixas no vagão	1	4	61,53 seg	246,10 seg
5	Percurso - Corredor	1	3	18,02 seg	54,06 seg
6	Descarregar vagão - Troca de sistema)	1	1	16,91 seg	16,91 seg
7	Colocar kit de vagão no rebocador	1	1	12,95 seg	12,95 seg
Tempo / giro					12,59 min
Caixa/h					457

*Dados obtidos do processo de transporte de componentes produzidos ao setor de expedição em um dos processos da fábrica (operação com rebocador modificado)