

Desenvolvimento de um Protótipo para o Projeto ISCP

EDUARDO MANUEL AZEVEDO SERRA

Novembro de 2016

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO PARA O PROJETO ISCP

Eduardo Manuel Azevedo Serra



Departamento de Engenharia Electrotécnica

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Automação e Sistemas

2016

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Candidato: Eduardo Manuel Azevedo Serra, N° 1101629, 1101629@isep.ipp.pt

Orientação científica: Lino Manuel Batista Figueiredo, lbf@isep.ipp.pt

Empresa: Continental Mabor – Industria de Pneus, S.A.

Supervisão: Roberto Perretta, roberto.perretta@conti.de



Departamento de Engenharia Electrotécnica

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Automação e Sistemas

2016

Aos meus Pais...

Agradecimentos

À Continental Mabor S. A., pela oportunidade de realizar este projeto e aos seus colaboradores pelo apoio e disponibilidade, em especial ao departamento de Engenharia V e VI, pela disponibilidade e cooperação.

Ao meu orientador da Continental Mabor, Engenheiro Roberto Perretta, por estar sempre disponível para me ajudar e orientar durante o projeto.

Ao Bruno Batista e à equipa de projetos da vulcanização, por me ajudarem na realização do projeto ISCP.

Ao meu orientador do ISEP, Engenheiro Lino Figueiredo, pela disponibilidade, paciência e dedicação ao longo de todo o projeto.

À minha família e amigos e a todos aqueles que direta ou indiretamente me ajudaram e apoiaram durante todo o processo.

Resumo

O projeto apresentado foi desenvolvido no âmbito de um estágio curricular realizado na Continental Mabor. Este surgiu da necessidade de melhorar a segurança das prensas de vulcanização, existentes na linha de produção.

Nas prensas de vulcanização foi implementado um sistema de segurança, que veio substituir e atualizar a segurança existente. Estas já possuíam alguns dispositivos de segurança, porém estes eram insuficientes e obsoletos, devido às características das máquinas.

O desenvolvimento deste novo sistema de segurança foi iniciado com o estudo da prensa de vulcanização e estudo do caderno de encargos do projeto. Numa fase seguinte foram analisadas possíveis soluções para a instalação dos novos dispositivos de segurança.

A solução de segurança desenvolvida, é independente e atua em paralelo com o sistema da prensa de vulcanização. Permite a monitorização de acesso a zonas de risco e, caso alguma destas seja invadida, inviabiliza os movimentos da máquina que podem representar algum perigo para o operador. Para tal, foram realizadas alterações ao nível do *hardware* e do *software*.

O sistema de segurança que foi implementado, permite minimizar o risco, de operar a máquina, para um nível residual, sem exercer um grande impacto na produção. Logo, esta solução encontra-se enquadrada com os requisitos do caderno de encargos realizado pela empresa. A prensa de vulcanização sofreu ainda a avaliação de um inspetor de segurança, tendo este certificado que a máquina se encontra em conformidade com os requisitos do caderno de encargos e o risco de acidente é presumivelmente residual.

Palavras-Chave

ISCP, Segurança, Pneus, Prensa de Vulcanização, PLC, Hardware, Software, Zona de Risco, Dispositivos de Segurança, Scanner de Segurança, Área de Segurança.

Abstract

The presented project was developed during an internship that occurred in Continental Mabor. The project was born from the need to improve safety in curing presses, used in the production line.

This system replaces and updates the existent one. The curing presses already have a few safety devices, however these were insufficient and obsolete due to the machine characteristics.

The development of the new safety system started with the study of the curing press and the project requirement book. During the next stage, different solutions have been analyzed, to install the new safety devices.

The safety solution that was developed, works independently and simultaneously with the curing press system. This solution allows the monitoring of the access to the dangerous areas, if one of these areas have been invaded, the system ceases the machine movement that could represent a hazard to the operator. To achieve this goal, modifications were done at a software and hardware level.

The implemented safety system allows the risk reduction of the curing presses operation to a residual level, without generating a great impact on the production. This solution fits with the company requirement book. The curing press was inspected by a safety inspector who certified that the machine was in conformity with the requirement book and that the hazard it represents is residual.

Keywords

ISCP, Safety, Tires, Curing Press, PLC, Hardware, Software, Dangerous Zone, Safety Devices, Safety Scanner, Safety Area.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ACRÓNIMOS	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTINENTAL.....	1
1.2.PROCESSO PRODUTIVO	3
1.3.CONTEXTUALIZAÇÃO	5
1.4.OBJETIVOS	5
1.5.CALENDARIZAÇÃO	6
1.6.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	7
2. PRENSA DE VULCANIZAÇÃO	9
2.1.PRENSA DE VULCANIZAÇÃO	9
2.1.1. <i>Prensa Mecânica vs. prensa Hidráulica</i>	12
2.2.ESTRUTURAS DA PRENSA DE VULCANIZAÇÃO.....	12
2.2.1. <i>Carregador</i>	12
2.2.2. <i>Descarregador</i>	14
2.2.3. <i>Green Tire Stand</i>	15
2.2.4. <i>Cavidade</i>	15
2.2.5. <i>Mecanismo Central</i>	16
2.2.6. <i>Transportador</i>	17
2.3.DESCRICÃO DE FUNÇÕES	18
2.4.HARDWARE.....	20
2.5.SOFTWARE	22
2.6.VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PRENSA DE VULCANIZAÇÃO	25

3. REQUISITOS DO ISCP.....	27
3.1.REQUISITOS	27
3.2.AVALIAÇÃO DO RISCO	28
3.2.1. Zonas de Perigo	29
3.2.2. Operação de risco	29
3.3.SOLUÇÕES DE SEGURANÇA	30
3.4.LAYOUT GERAL DE SEGURANÇA.....	31
3.4.1. Scanner	33
3.4.2. Barra ou Bumper de segurança da Extremidade Superior	34
3.4.3. Soluções para a zona traseira da prensa de vulcanização.....	35
3.4.4. Soluções para a zona Inferior da prensa de vulcanização	36
3.4.5. Sinalização.....	36
3.4.6. Modos de funcionamento.....	36
3.5.DESCRICÃO DOS MÓDULOS DE SEGURANÇA.....	37
3.5.1. Scanner	37
3.5.2. Barreiras Óticas.....	41
3.5.3. Dispositivos para Barreiras Fixas	42
3.5.4. Medidas de Segurança Adicionais	45
3.5.5. Sistema Flexi Soft.....	46
3.5.5.1. Flexi Loop.....	48
3.6.ARQUITETURA DO <i>HARDWARE</i>	50
3.6.1. Quadro Elétrico independente com contactores convencionais.....	50
3.6.2. Solução compacta sem contactores.....	50
3.6.3. Solução compacta sem contactores e com transmissão de dados	51
3.6.4. Solução compacta com contactores desligando o controlo da alimentação dos grupos. 52	
4. ARQUITETURA DO SISTEMA	55
4.1.HARDWARE.....	55
4.1.1. Zona de Segurança Frontal	56
4.1.2. Zona de Segurança Traseira.....	60
4.1.3. Zona de Segurança Inferior.....	62
4.1.4. Controlo.....	62
4.2.SOFTWARE	63
4.2.1. PLC da Prensa de Vulcanização.....	63
4.2.2. PLC de Segurança.....	68
5. IMPLEMENTAÇÃO.....	71
5.1.HARDWARE.....	71
5.1.1. Layout	71
5.1.2. Alterações elétricas	73

5.2.SOFTWARE.....	74
5.2.1. <i>PLC de Segurança</i>	75
5.2.2. <i>PLC da Prensa de Vulcanização</i>	83
6. CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	91
ANEXO A. ÁREA DE MONITORIZAÇÃO DO S3000.....	94

Índice de Figuras

Figura 1	Processo produtivo na manufatura de pneus [4]	3
Figura 2	Exemplo de perigos de origem mecânica	6
Figura 3	Representação 3D de uma prensa de vulcanização	10
Figura 4	Representação 3D de um carregador	13
Figura 5	Representação 3D de um GTS	15
Figura 6	Representação 3D de uma das cavidades da prensa de vulcanização	16
Figura 7	Início do processo de vulcanização[8]	17
Figura 8	Representação do transportador	18
Figura 9	Topologia da rede EtherCAT na prensa de vulcanização	20
Figura 10	Fluxograma geral do ciclo de vulcanização	23
Figura 11	Zonas de perigo da prensa de vulcanização	29
Figura 12	Layout de segurança da prensa de vulcanização	33
Figura 13	Áreas de segurança do scanner	34
Figura 14	Soluções para a área vermelha minimizada	35
Figura 15	Princípio de funcionamento do scanner de segurança S3000 da SICK	38
Figura 16	Barramento EFI	39
Figura 17	Princípio de funcionamento da função EDM	40
Figura 18	Distribuição dos emissores dos dispositivos C2000 e M2000	41

Figura 19	Cascata de barreiras óticas	42
Figura 20	Principais componentes do sistema RFID[16]	43
Figura 21	Distância de comunicação do TR4	43
Figura 22	Montagem do dispositivo de segurança I17 ou I14	44
Figura 23	Interruptores e contactos do dispositivo I17	44
Figura 24	Interruptores e contactos do dispositivo I14	45
Figura 25	Constituição do <i>bumper</i> de segurança	46
Figura 26	Cascata de sensores no Flexi Loop	49
Figura 27	Ligação do <i>Flexi Loop</i>	49
Figura 28	Quadro elétrico único com contactores	50
Figura 29	Solução sem contactores	51
Figura 30	Solução sem contactores e com transmissão de dados	52
Figura 31	Solução com contactores cortando a alimentação dos grupos de segurança	53
Figura 32	Zona de segurança frontal (vista superior da prensa de vulcanização)	56
Figura 33	Área de monitorização do scanner S3000, com este na 1) posição	57
Figura 34	Área de monitorização do scanner S3000, com este na 2) posição	58
Figura 35	Área de monitorização do scanner S3000, com este na 3) posição	58
Figura 36	Área de monitorização do scanner S3000, com este na 4) posição	59
Figura 37	Representação 3d da prensa de vulcanização com grades de segurança	60
Figura 38	Barramento <i>Flexi Loop</i> para as portas traseiras.	61
Figura 39	Quadro independente com contactores e barramento de dados	63

Figura 40	Arquitetura geral de software da prensa de vulcanização	64
Figura 41	Arquitetura de software – Carregador	65
Figura 42	Arquitetura de software – Descarregador	66
Figura 43	Arquitetura de software – Mecanismo Central	67
Figura 44	Arquitetura de software – Prensa	68
Figura 45	Comunicação entre os PLC's	69
Figura 46	Layout final dos dispositivos de segurança aplicados	72
Figura 47	Configuração do Hardware	73
Figura 48	Fluxograma de verificação de permissões para silenciamento da segurança	76
Figura 49	Fluxograma do funcionamento das áreas de segurança	77
Figura 50	Fluxograma da função muting	78
Figura 51	Fluxograma da função que controla as portas	79
Figura 52	Fluxograma de enable do driver das cavidades	80
Figura 53	Fluxograma do controlo da sinalização	81
Figura 54	Fluxograma do acesso indevido à área traseira	82
Figura 55	Fluxograma do controlo da comunicação	82
Figura 56	Fluxograma da função <i>Falhas</i>	84
Figura 57	Fluxograma da função TimeOut	86

Índice de Tabelas

Tabela 1	Calendarização do projeto	7
Tabela 2	Movimentos perigosos da Prensa de Vulcanização	30
Tabela 3	Soluções de segurança	31
Tabela 4	Tipos de rede permitidos no sistema <i>Flexi Soft</i>	47

Acrónimos

AGV	–	Autonomous Guided Vehicle
CAD	–	Computer Aided Design
CVT	–	Commercial Vehicle Tires
DVI	–	Digital Video Interface
EDM	–	External Device Monitoring
EFI	–	Enhanced Function Interface
ERP	–	Enterprise Resource Planning
ESC	–	EtherCAT Slave Controller
ESPE	–	Electro-Sensitive Protective Equipment
GTS	–	Green Tire Support
HMI	–	Human Machine Interface
I/O	–	Input/Output
ID	–	Identify
IPC	–	Industrial PC
ISCP	–	Improving Safety in Curing Presses
LED	–	Light Emitting Diode
LVDT	–	Linear Variable Differential Transformer
MAC	–	Media Access Controller
MES	–	Manufacturing Execution Systems
NC	–	Normally Closed
OPC	–	Open Platform Communication

- OSSD – Output Signal Switching Device
- PID – Proportional Integral Derivative
- PLC – Programmable Logic Controller
- PLT – Passenger Light-Truck Tires
- PV – Prensa de Vulcanização
- RFID – Radio Frequency Identification
- RTD – Resistance Temperature Detector
- UPnP – Universal Plug and Play
- USB – Universal Serial Bus

1. INTRODUÇÃO

Um dos princípios fundamentais da Comunidade Europeia é a proteção do bem-estar dos cidadãos, quer ao nível pessoal como profissional. Um outro princípio é a criação de um mercado único com a livre circulação de bens. Assim, foram definidas diretivas para serem implementadas na lei nacional, para que os princípios possam ser garantidos, aplicando regras de segurança e bem-estar no trabalho e de segurança de máquinas.[1]

Este projeto, requisitado pela Continental, visa responder ao princípio fundamental da Comunidade Europeia, a proteção do bem-estar dos cidadãos ao nível profissional, melhorando a segurança de um conjunto de máquinas existentes, utilizadas na produção de pneus.

1.1. CONTINENTAL

A Continental Mabor nasce, em Portugal, em 1993 quando a Continental assume o controlo das atividades relacionadas com pneus e produção de cordas têxteis, até então pertencentes à empresa Portuguesa, Mabor.

A Continental é uma empresa pautada pelo desenvolvimento e melhoria contínua nas suas áreas de ação. A empresa surgiu em 1871, em Hannover, como uma empresa dedicada ao fabrico de produtos de borracha macia, tecidos com borracha e pneus sólidos, mas cedo revoluciona a indústria com a produção de pneus pneumáticos sem padrões de piso, porém em poucos anos cria os primeiros pneus com padrão de piso e as primeiras jantes.[2]

Em 1928 e 1929, a Continental funde-se com uma das maiores empresas pertencentes à indústria da borracha. Na década de 50 cria o pneu *tubeless*, isto é um pneu sem necessidade de uma camara de borracha para retenção de ar no seu interior, e é também a primeira empresa a desenvolver suspensões pneumáticas para camiões e autocarros.[3]

Nos anos seguintes a Continental inicia um processo de aquisição de várias empresas produtoras de pneus, como a “Uniroyal, Inc”, “Semperit”, “General Tire, Inc”, “Mabor” e “Barum”. Neste quarto de século consegue dar um grande impulso no seu crescimento, pois adquire empresas concorrentes.[4]

No início do novo milénio são criadas diversas unidades fabris por todo o mundo, e em 2002 o grupo Continental volta a inovar com a criação de pneus run-flat, pneus que podem continuar a circular mesmo que vazios. Em 2008 inicia a produção de baterias de iões de lítio a fim de serem utilizadas em veículos híbridos.[2]

O grupo Continental está dividido em cinco áreas, dentro do Grupo Automotivo e Grupo da Borracha:

- *Chassis & Safety*, este grupo está focado em tecnologias modernas relacionadas com a segurança ativa e passiva, bem como a dinâmica do veículo;
- *Powertrain*, este representa as soluções para sistemas eficientes e inovadores na transmissão de potência no veículo;
- *Interior*, integra todas as atividades relacionadas com a apresentação e gestão da informação do veículo;
- *Tires*, este grupo dedica-se à produção de todo o tipo de pneus, desde veículos de passageiros e comerciais, até pneus de bicicleta, motas ou especiais;

- *ContiTech*, desenvolve e produz sistemas, componentes e partes funcionais para a indústria automóvel.[3]

1.2. PROCESSO PRODUTIVO

A Continental Mabor insere-se no grupo dedicado à produção de pneus, o grupo *Tires*. Esta possui um processo produtivo complexo (ver Figura 1), que é realizado em várias fases, divididas por departamentos, assim cada departamento é responsável pela realização de uma fase do processo produtivo.

Tyre production - a glance around the factory

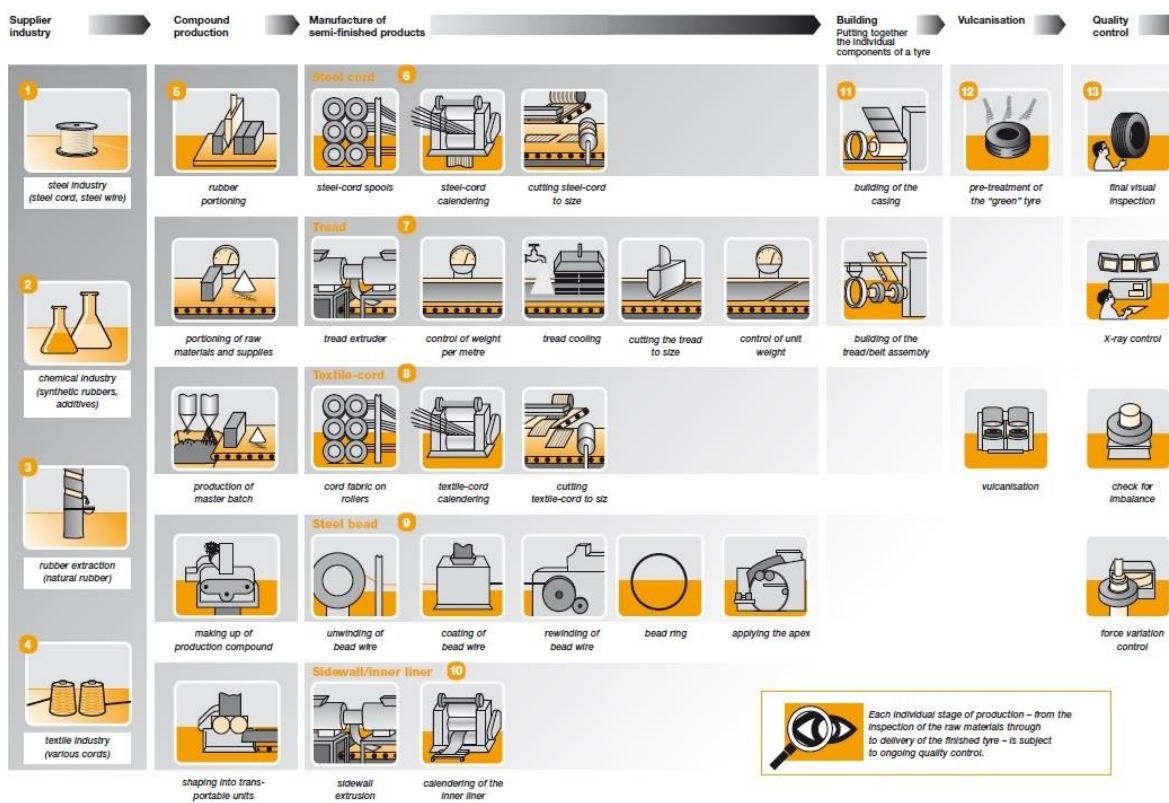


Figura 1 Processo produtivo na manufatura de pneus [4]

Numa primeira etapa é realizada a misturação, esta ocorre depois de recebida a matéria-prima para a produção da borracha, constituinte principal dos pneus. Nesta etapa é iniciado o processo produtivo, onde são misturadas as diferentes matérias primas (borracha natural e sintética, pigmentos, óleo mineral, sílica, negro de fumo, entre outros). Inicialmente, a borracha é partida, para posteriormente ser misturada com os restantes componentes, para

ser criado um composto, representado na Figura 1, no processo *compound production*. Este último é moldado em unidades prontas a ser transportadas para a fase seguinte.

Numa segunda etapa é realizada a preparação dos componentes que integram o “pneu verde”. Nesta fase são preparadas as cordas de aço pelas calandras e pelas máquinas de corte, referidas na Figura 1, na fase 6 do processo produtivo. As telas de borracha que servirão de piso para o pneu são criadas nas extrusoras, apresentadas na Figura 1 na fase 7 do processo produtivo. As cordas têxteis também passam pelas calandras e pelas máquinas de corte, esta fase do processo produtivo é apresentada na Figura 1 pelo número 8. Os talões, são criados na fase 9 do processo produtivo, sofrem um processo de revestimento e rebobinagem para produzirem um formato de anel. Por fim são criadas as paredes do “pneu verde” com recurso a uma calandra, na fase 10 do processo produtivo.

Numa terceira etapa é realizada a montagem dos diversos constituintes do “pneu verde”, descritos anteriormente, esta é designada de *building* tal como apresentado na Figura 1. Nesta existem dois tipos de máquinas, as máquinas responsáveis pela construção da carcaça do pneu (KM) e as máquinas (PU) que juntam à carcaça os *steel breakers*, o piso e as cintas têxteis, resultantes da fase 6, 7 e 8. Uma vez concluída esta etapa do processo, o “pneu verde” está pronto para ser transportado para a próxima etapa.

Na quarta etapa do processo produtivo, é realizado a cozedura do “pneu verde” para que este assuma as características finais de um pneu. Este procedimento designa-se por vulcanização e é apresentado na Figura 1 como *vulcanisation*, é realizado pela prensa de vulcanização (PV). A cozedura é realizada a alta pressão e temperatura em PVs que suportam o molde que dará a forma desejada ao pneu. No final da PV terminar o seu ciclo o pneu está pronto para a inspeção final.

Na inspeção final, fase onde termina o processo produtivo, representada na Figura 1 como *quality control*, é feita uma verificação de qualidade do pneu a fim de determinar se este cumpre todos os requisitos impostos. Posteriormente, este é transportado para um armazém de produto acabado onde permanece até ser vendido.

1.3. CONTEXTUALIZAÇÃO

O projeto é realizado no âmbito da dissertação do curso de engenharia eletrônica e de computadores e surge na necessidade de implementar um sistema de segurança nas PVs.

As PVs possuem alguns dispositivos de segurança, porém, estes são insuficientes e obsoletos. Assim, para salvaguardar a integridade física do operador surgiu a necessidade de instalar-se um novo sistema de segurança, o mais *standard* possível entre todas as PVs. Este deve funcionar em paralelo com o sistema da PV e não deve prejudicar a capacidade de produção da máquina.

No *layout* fabril, as PVs instaladas são de diferentes décadas, diferentes fabricantes e dispostas de modo diferente, necessitando assim que o novo sistema de segurança seja adaptado à PV.

O projeto abordado neste relatório, descreve o desenvolvimento e aplicação de um novo sistema de segurança a um protótipo, porém a família a que este protótipo pertence é constituída por dez máquinas semelhantes e dispostas num *layout* diferente das restantes existentes na fábrica.

1.4. OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é desenvolver e implementar um sistema de segurança *standard* que possa efetivamente melhorar a segurança dos operadores das PVs. Este sistema de segurança deve funcionar em paralelo com o sistema de controlo da PV e impedir que ocorram situações de perigo para o operador.

O conceito de segurança a ser implementado é fundamentado no caderno de encargos do projeto, este é baseado numa análise de risco que se foca principalmente em perigos mecânicos, apresentados na Figura 2.











Exemplos de perigos de origem mecânica em máquinas ou sistemas			
	Corte		Esmagamento
	Cisalhamento		Esfaqueamento
	Arrastamento ou prisão		Arrastamento ou prisão
	Emaranhamento		Impacto
	Impacto de peças partidas		Impacto por peças ejetadas

Figura 2 Exemplo de perigos de origem mecânica

O caderno de encargos apenas descreve os requisitos mínimos que devem ser considerados e implementados, tendo em conta que existe uma grande diversidade de PVs, de diferentes décadas e dispostas em *layouts* diferentes.

O projeto foi dividido por etapas, de modo a que possa ser mais eficientemente realizado:

Estudo da PV;

Estudo do caderno de encargos realizada pela empresa, identificando os movimentos de perigosos da PV e as novas regras que são necessárias cumprir;

Estudo das possíveis tecnologias sugeridas no caderno de encargos;

Elaboração de uma solução para que a PV entre em conformidade com os requisitos de segurança internos;

Elaboração do novo programa para a PV;

Implementação deste protótipo.

1.5. CALENDARIZAÇÃO

Este projeto possui alguma complexidade e existe a necessidade que este seja feito com alguma brevidade e organização, logo surge a necessidade de se efetuar a calendarização apresentada na Tabela 1. Esta inclui um conjunto de tarefas a realizar de modo a que seja possível atingir em tempo útil o objetivo principal.

2. PRENSA DE VULCANIZAÇÃO

Neste capítulo será apresentado o estudo sobre a PV em que serão realizadas as alterações, de modo a alcançar as melhorias propostas. Para tal, descreve-se a tecnologia da PV e os principais problemas.

2.1. PRENSA DE VULCANIZAÇÃO

Os produtores de pneus necessitam de máquinas especiais que possam realizar o processo de vulcanização, uma das últimas etapas na produção de pneus. Este processo consiste em transformar um “pneu verde” num pneu vulcanizado, isto é, um pneu que apresente as características necessárias para circular na estrada.

A PV, representada na Figura 3, é a máquina com as características necessárias para a realização desta tarefa. As PV existentes na empresa possuem duas cavidades e podem funcionar em simultâneo ou de modo independente, dependente do tipo de PV. A PV em que o projeto se desenvolve é de duas cavidades, que funcionam de modo independente, sendo que a cavidade à esquerda é em tudo semelhante à da direita e em cada cavidade pode ser vulcanizado um pneu.

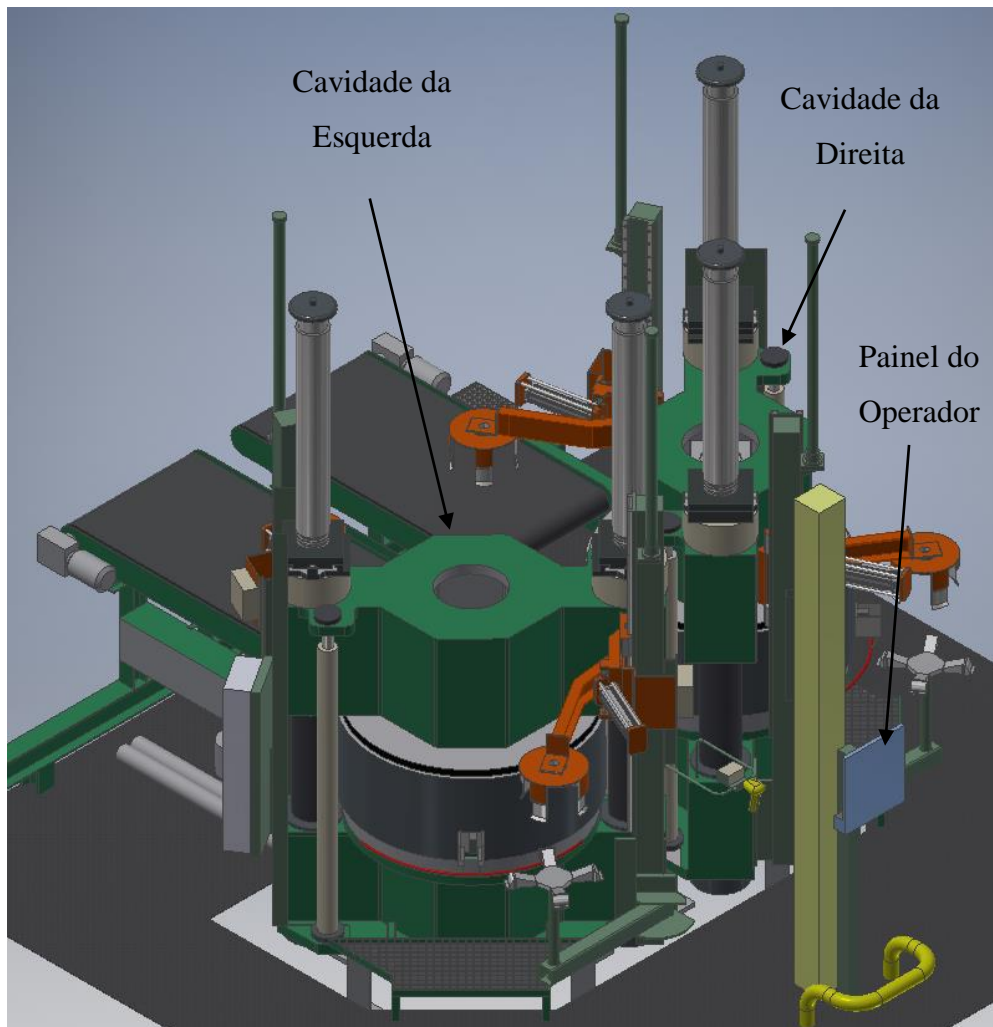


Figura 3 Representação 3D de uma prensa de vulcanização

As PV de pneus são classificadas tendo em conta a natureza do agente motor, mecânico ou hidráulico, e o tamanho da cavidade. No entanto de uma perspetiva organizacional também são classificadas quanto ao tipo de divisão a que pertencem, Passenger Light-Truck Tire (PLT) ou Commercial Vehicle Tires (CVT).

Com base no documento sobre PV da autoria da Rockwell Automation, as PV são máquinas que necessitam ostentar algumas características produtivas. Tais como, grande produção, repetibilidade e qualidade de produto, com recurso a pouca mão de obra e baixos custos de manutenção. Porém, as PV também necessitam de estar conectadas à rede da empresa, de modo a trabalharem eficientemente. Isto é, transmitir informações importantes sobre o processo em si, bem como possíveis falhas e avisos, para que o departamento de produção possa rentabilizar a máquina ao máximo e corrigir os seus problemas mais rapidamente. [5]

Assim, para o produtor de pneus, a PV necessita apresentar:

Produtividade, de modo a que o tempo de cozimento de cada pneu seja diminuto, a introdução e extração de pneus na máquina seja rápida, para que, a taxa de produção seja elevada e de qualidade;

Flexibilidade, para que seja possível produzir diferentes pneus de diferentes tamanhos para diferentes funções na mesma máquina;

Segurança, de modo, a que possua os *standards* de segurança, bem como, possa salvaguardar a segurança do operador e do equipamento;

Simplicidade, para que o operador da máquina consiga executar todas as tarefas necessárias à transformação do pneu, sem que para tal seja necessário um elevado nível de formação;

Conectividade, de modo a que, seja possível conectar a máquina à rede da empresa por protocolos *standards* Ethernet para Manufacturing Execution Systems (MES) e Enterprise Resource Planning (ERP), para que, os processos sejam facilmente controlados e documentados.

Devido à competitividade do mercado, a eficiência em cada estágio do processo produtivo é importante, e a vulcanização é um dos pontos mais críticos. Pois, é uma das áreas que representa maior investimento, bem como, maiores custos de manutenção e funcionamento. Assim, é fundamental que estas máquinas sejam, rápidas, fiáveis e que apresentem elevada repetibilidade e qualidade no processo.

Os três elementos-chave no processo de vulcanização são: o tempo, a temperatura e a pressão. A temperatura e a pressão vão afetar diretamente a qualidade do pneu, uma temperatura baixa neste processo, reflete-se numa menor produção do composto de enxofre, o que por sua vez condiciona a qualidade das ligações dos polímeros da borracha. Isto, leva a que o pneu resultante não tenha a resistência ao piso nem propriedades elásticas desejadas.

Na situação oposta, quando este processo está sujeito a uma muito alta pressão ou temperatura é produzido composto de enxofre em excesso, o que leva a que no momento da sua utilização este não suporte grandes forças e tenha um ciclo de vida curto, pois desgasta-se muito rápido. Também, se a pressão for baixa o pneu será esponjoso, se a pressão for muito alta o tempo de vida dos componentes da PV será reduzido e o seu consumo energético aumentará.

Conjugando estes elementos com o terceiro fator, o tempo, é possível ajustar a janela temporal para se obter as características pretendidas para os diferentes pneus.

2.1.1. PRENSA MECÂNICA VS. PRENSA HIDRÁULICA

A PV pode ser do tipo mecânico ou hidráulico. A PV do tipo mecânica transforma a força rotacional de um motor elétrico numa força translacional aplicada ao pneu. As PV mecânicas vulcanizam pneus de menor dimensão devido ao tamanho do molde, também a manutenção é mais demorada, pois a mudança dos componentes mecânicos é complexa.

A PV do tipo hidráulica utiliza cilindros hidráulicos para aplicar a pressão sobre o “pneu verde”. Esta apresenta maior produtividade, velocidade de abertura e fecho das cavidades e maior flexibilidade, pois permite o ajuste da cavidade a diferentes pneus, sendo utilizadas maioritariamente para pneus de veículos comerciais e de passageiros, cuja variedade de pneus é elevada. No entanto, as PV hidráulicas estão sujeitas a um maior número de avarias, pois o circuito hidráulico é um elemento propício a fugas e o seu custo de aquisição é maior.[6]

2.2. ESTRUTURAS DA PRENSA DE VULCANIZAÇÃO

A PV é composta por duas cavidades simétricas, nestas existem alguns conjuntos de componentes que estão nomeados pela função que desempenham, tais como:

Carregador;

Descarregador;

Cavidade;

Green Tire Stand;

Mecanismo central;

Transportador.

Os seus movimentos podem ter origem em energia hidráulica, pneumática ou elétrica.

2.2.1. CARREGADOR

O carregador, representado na Figura 4, é o mecanismo responsável pelo transporte do “pneu verde” a partir do *Green Tire Stand* (GTS) para o interior da PV, descarregando este no interior da PV centrado com o molde. O carregador é composto por uma estrutura

mecânica de guia (Figura 4, ponto 1), um cilindro pneumático para rotação do braço (Figura 4, ponto 4), e por um cilindro hidráulico para subida e descida (Figura 4, ponto 3). O cilindro pneumático tem como função provocar o movimento giratório do carregador no sentido horizontal, o que permite que este entre ou saia na PV. O cilindro hidráulico tem como função provocar o movimento linear do carregador no sentido vertical, permitindo que este se desloque no para cima e para baixo com o intuito de pegar no “pneu verde” e colocá-lo no interior da PV.

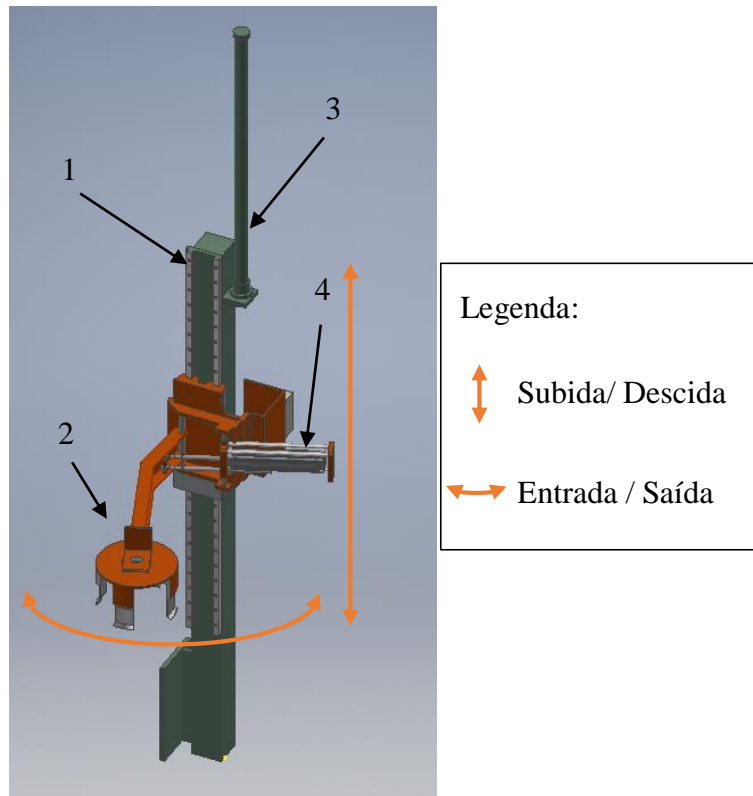


Figura 4 Representação 3D de um carregador

O carregador possui algumas posições definidas no programa do PLC, estas posições são identificadas a partir de sensores indutivos localizados na unidade de guia e de parafusos metálicos localizados nos carris de guia. Estes podem ser ajustados de acordo com as necessidades do pneu a vulcanizar.

O carregador pode atingir quatro posições:

Posição de carregamento do pneu verde – Nesta posição o carregador pega pneu verde, que se encontra no *green tire stand*.

Posição de rotação do carregador – esta é a posição em que o carregador entra ou sai da PV.

Posição de bombagem do carregador – se o carregador se deslocar para baixo no interior da PV, para ao atingir esta posição. Esta é a posição em que é deixado o “pneu verde”.

Posição de troca de molde – O carregador encontra-se no exterior da PV e na sua posição mais alta, de modo a ser possível trocar o molde sem que o empilhador choque com o carregador.

A garra é uma estrutura que pertence ao carregador e esta está fixa ao braço giratório do carregador. A garra possui quatro pás acionadas por um pequeno cilindro pneumático, portanto, quando a válvula que controla o cilindro pneumático é acionada o veio do cilindro desloca-se para o seu curso máximo provocando a abertura das pás.

A garra, representada na Figura 4 pelo ponto 2, ao ser inserida na peça em bruto ativa uma fotocélula, que envia a informação ao PLC, de que a garra se encontra no interior do “pneu verde”. O PLC responde com o comando para as forçar as pás a abrir.

2.2.2. DESCARREGADOR

O descarregador situa-se na parte de trás da PV e tem como função realizar a descarga do pneu vulcanizado para o transportador.

O descarregador é composto por dois cilindros pneumáticos, um guia, que orienta o movimento vertical, gerado por um cilindro pneumático, e por um braço giratório fixado na unidade de guia. O braço giratório permite o movimento giratório para o interior da PV, este movimento é promovido por um cilindro pneumático.

O descarregador é em quase tudo semelhante ao carregador, mecanicamente e funcionalmente. A diferença reside na função que este executa, bem como o tipo de cilindro utilizado no movimento vertical.

O descarregador possui três posições de pré-definidas, ou seja, posição de carregamento do pneu, posição de entrada e saída da PV e a posição de depósito do pneu no transportador.

A garra utilizada acoplada ao descarregador é em tudo semelhante à garra utilizada no carregador.

2.2.3. GREEN TIRE STAND

O *green tire stand* é o suporte em que o operador coloca o “pneu verde” antes de este ser recolhido pelo carregador para seguidamente entrar na PV. É uma estrutura mecânica simples, como é possível visualizar na Figura 5, mas que permite ao operador colocar o pneu e seguir para a próxima máquina sem ter que ficar a operar uma só máquina. Este sistema funciona como um pequeno “buffer” de entrada de material na PV.

Sempre que o GTS esteja carregado é enviada essa informação ao PLC, pois existem mecanismos para recolha dessa informação. Tais como, uma fotocélula para identificação do “pneu verde”, um sensor indutivo por baixo de uma das pás (Figura 5, ponto 1) que é acionado pela força que o pneu exerce nas pás do GTS e por ser necessário validar o pneu colocado com recurso a um sistema de validação por código.

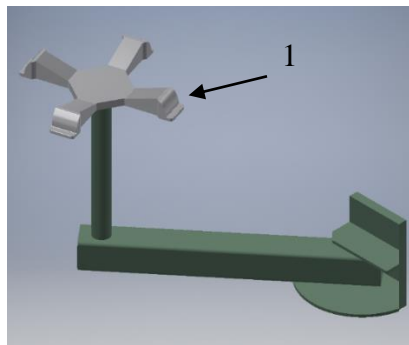


Figura 5 Representação 3D de um GTS

2.2.4. CAVIDADE

Na Figura 6, é apresentada a cavidade da PV, esta abrange as extremidades superior e inferior (ponto 5 e 7). A extremidade inferior da cavidade é fixa por pilares ao solo, e nesta estão fixados dois cilindros hidráulicos (Figura 6, ponto 3) que provocam o movimento linear de subida ou descida, da extremidade superior. Este movimento é orientado pelos guias das placas de compressão (Figura 6, ponto 4), ou seja, a extremidade superior move-se verticalmente pelo guia de compressão no momento de abertura e fecho da PV. As placas de compressão (Figura 6, ponto 8), localizadas nas extremidades superior e inferior têm como função receber um molde que possui a forma final a dar ao pneu, fixo à extremidade superior está uma proteção térmica (Figura 6, ponto 2), que tem como função

evitar perdas de temperatura, e nesta estrutura está segura uma barreira de segurança (Figura 6, ponto 6).

A posição da cavidade é obtida através de um sensor de posição analógico, um Linear Variable Differential Transformer (LVDT) ¹, este mede o deslocamento num eixo e gerando um sinal elétrico correspondente.

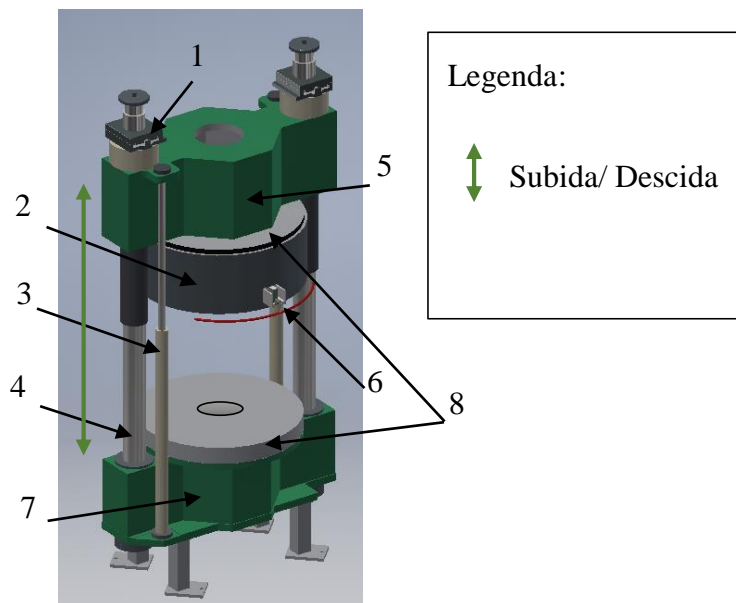


Figura 6 Representação 3D de uma das cavidades da prensa de vulcanização

O bloqueio da extremidade superior é realizado pelo mecanismo de bloqueio (Figura 6, ponto 1), que permite travar a PV na posição aberta e na posição fechada. Este bloqueio é realizado por cilindros pneumáticos localizados no mecanismo de bloqueio, e a sua posição é medida com recurso a sensores indutivos.

2.2.5. MECANISMO CENTRAL

O mecanismo central encontra-se no centro da extremidade inferior, representada na Figura 6 no ponto 7. Este é composto por alguns cilindros hidráulicos, que tem como função provocar a subida de e descida do anel do talão superior (Figura 7, ponto 5) e do anel do talão inferior (Figura 7, ponto 4), pare que o diafragma (Figura 7, ponto 6) seja insuflado e

¹ O LVDT consiste numa montagem de duas bobinas estacionárias em torno de um núcleo móvel de ferrite que se desloca solidário com o objeto a ser medido. Na montagem a bobine primária é excitada por corrente alternada, gerando uma corrente induzida na bobine secundária, caso o elemento de ferrite se encontre exatamente no centro a corrente induzida anula-se, em caso contrario é gerada uma corrente proporcional ao deslocamento. Pires, J.N., *Automação Industrial*. 3ª Edição ed. Automação e Robótica, ed. ETEP. 2007: LIDEL - eições técnicas, lda.

possa pressionar o “pneu verde” (Figura 7, ponto 2) contra o molde (Figura 7, ponto 1 e 3) de modo a que este ganhe a forma desejada, durante o processo de vulcanização.

No mecanismo central o anel inferior e superior, Figura 7, ponto 4 e 5, que atuam ao nível do talão inferior e superior do pneu, são responsáveis por dar a forma ao pneu. Por fim, acoplado ao anel inferior e superior está o diafragma (Figura 7, ponto 6), que é uma estrutura expansível de borracha com uma forma oval. Ou seja, é o sistema que recebe vapor a alta pressão e temperatura, o que provoca a vulcanização do “pneu verde” e que garante que este seja cozido corretamente.

Assim, que o anel superior e o anel inferior estejam na posição, o diafragma recebe vapor no seu interior e expande pressionando o pneu contra o molde a alta temperatura e pressão. Findo este processo, o vapor é recolhido, o diafragma contrai, o anel superior, inferior e o anel do talão recolhem para o interior da extremidade inferior. Para que, o pneu cozido seja recolhido e um novo “pneu verde” seja colocado na posição e todo o processo se repita novamente.

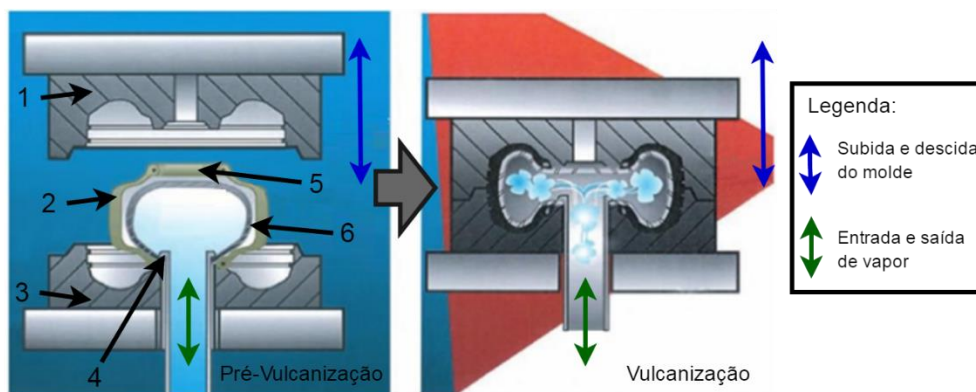


Figura 7 Início do processo de vulcanização[8]

2.2.6. TRANSPORTADOR

O transportador recebe o pneu, acabado de vulcanizar, através do descarregador e posteriormente envia-o para o canal transportador. Após o descarregador depositar o pneu no tapete transportador (Figura 8, ponto 2), este arrefece lentamente nesta estrutura, de modo a que as características do pneu estabilizem. Depois de algum tempo o sistema da PV emite a ordem, para que o motor do transportador comece a rodar e envie os pneus para um canal principal, para que estes continuem o seu processo. Uma fotocélula é utilizada para detetar o pneu no tapete transportador.

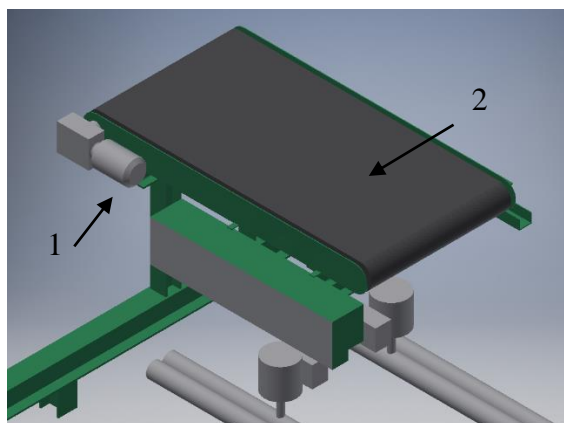


Figura 8 Representação do transportador

2.3. DESCRIÇÃO DE FUNÇÕES

A PV, tem como função vulcanizar um “pneu verde” de modo a que este adquira a robustez pretendida, bem como o perfil desejado. Esta máquina é composta por duas cavidades que podem funcionar de modo independente.

A PV possui três modos de funcionamento, o modo automático, o modo manual e o modo de mudança de molde.

Modo Manual

O modo manual permite ao operador controlar os movimentos do carregador, descarregador, extremidade superior, transportador e o controlo do mecanismo central, manualmente.

Modo Mudança de Molde

O modo de mudança de molde permite ao operador realizar os movimentos do modo manual, com o acréscimo de alguns movimentos específicos, necessários no momento da mudança de molde.

Modo Automático

O modo automático permite que a realização de todos os movimentos necessários para o ciclo de vulcanização e evolução do trabalho, sejam comandados pelo programa existente no Programmable Logic Controller (PLC).

Quando as cavidades da PV são independentes permitem que em ambos os lados possam ser vulcanizados diferentes tipos de pneus e em ciclos de vulcanização diferentes.

O modo automático possui uma sequência de movimentos definidos para a realização do ciclo de vulcanização. Este inicia-se com o movimento do carregador e da garra para pegar num pneu em bruto, colocada previamente no GTS, e desloca-se para o interior da PV. Este movimento só ocorre se a PV e o molde estiverem abertos com a extremidade superior, na sua posição superior. O carregador transporta o “pneu verde” para o centro da cavidade, isto é, para a zona de aquecimento por cima do mecanismo central.

O mecanismo central sobe ficando no interior do “pneu verde”, seguidamente o diafragma é insuflado com vapor ou nitrogénio, dependendo da PV, a reduzida pressão, para que este fixe o “pneu verde”. Assim, que é atingida a pressão necessária a garra solta o “pneu verde” e o carregador move-se para o exterior da cavidade.

Os bloqueios de segurança da extremidade superior são recolhidos e esta começa a descer até atingir a posição inferior em que os bloqueios de segurança são novamente acionados e os segmentos do molde fecham-se sobre o “pneu verde”, de modo a criar uma pressão exterior sobre a peça, e o molde é bloqueado. Nesta fase o diafragma é novamente insuflado com vapor até atingir a pressão necessária criando uma compressão interna a alta temperatura e assim inicia-se a vulcanização.

No final da vulcanização os fluidos do diafragma são parcialmente retirados e pressão interna reduzida. Seguidamente o molde é desbloqueado, e a pressão que este exerce é aliviada, os bloqueios de segurança são recolhidos e a PV começa a abrir. Assim que a extremidade superior atinge a posição superior os bloqueios de segurança abrem.

Nesta fase o descarregador desloca-se para o interior da PV, enquanto que o mecanismo central e o diafragma estendem-se verticalmente é criado um vácuo no diafragma para o mecanismo central recuar para o interior da extremidade inferior sem danificar o diafragma. O descarregador continua o seu movimento e desce para o centro do pneu, a garra abre e fixa o pneu, para por fim o descarregador desloca-se para o exterior da PV. Uma vez no exterior, este desce e deposita o pneu quente sobre o dispositivo de descarga e regressa à posição anterior, a sua posição de repouso.

2.4. HARDWARE

Ao nível do *hardware* a PV possui três unidades importantes que recebem os dispositivos de controlo e atuação, e o Human Machine Interface (HMI), instalados segundo a configuração apresentada na Figura 9.

No quadro principal estão instalados: o controlador da PV, um barramento de Input/Output (I/O) e dispositivos de alimentação e corte.

No quadro da esquerda está instalado um barramento de I/O, responsável pela leitura dos estados e acionamento dos movimentos da cavidade direita.

No quadro da direita está instalado o barramento de I/O responsável, semelhante ao do quadro da esquerda, este efetua a leitura do estados e acionamento dos movimentos da cavidade direita.

Os barramentos de I/O estão conectados ao Industrial PC (IPC), e este ao HMI, através do protocolo de comunicação EtherCAT. Estes estão dispostos numa topologia de barramento (*bus*), em que o IPC assume o papel de *master* e os restantes dispositivos o papel de *slaves*.

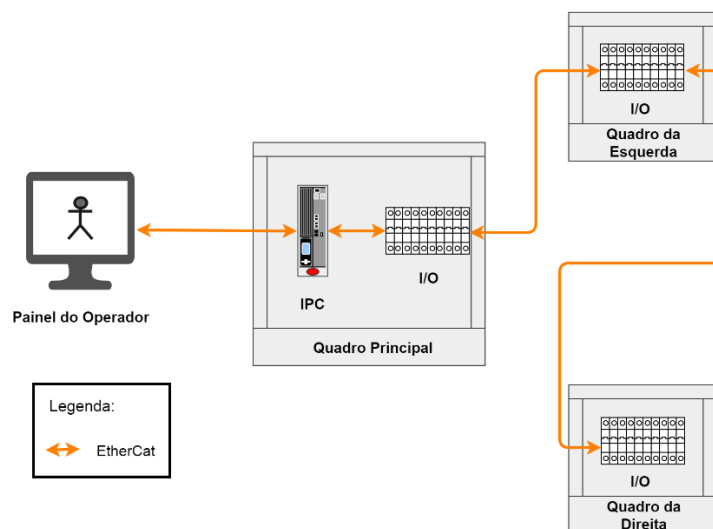


Figura 9 Topologia da rede EtherCAT na prensa de vulcanização

O controlador da PV é o Industrial PC série C69xx da Beckhoff, é o componente da PV responsável por efetuar o processamento e controlo de toda a informação da PV, este está inserido no quadro elétrico principal.

A interface de programação do IPC é o TwinCAT *automation software* e para além da programação também permite a monitorização e configuração de parâmetros. Estes mesmos parâmetros podem ser acedidos por interfaces de programação standard, como o Open Platform Communications (OPC), Universal Plug and Play (UPnP) e .NET para aplicações em Windows, e são utilizados para monitorização das máquinas. A configuração da interface pode ser realizada remotamente, porém o acesso e configuração via acesso externo exige *password*.

A interface homem-máquina é realizada por um painel de controlo da Beckhoff na frente da PV, que está ligado ao quadro principal por *Digital Visual Interface (DVI)* e *Universal Serial Bus (USB)*, o que permite operar remotamente até 50 metros.

A comunicação deste sistema é realizada por EtherCAT, em que, o IPC assume o papel de master no sistema e envia os telegramas que passam por cada nó dos *slaves*. Cada um dos *slaves* na rede lê a informação importante enviada, e coloca os seus dados na trama enquanto esta vai passando, assim que a trama termina a sua passagem pelo *slave*, as instruções são executadas. Por fim, o *slave* no último nó do ramo envia a trama completamente processada de volta para o primeiro *slave* e este reencaminha para o master, como um telegrama de resposta.[9]

Tal como referido anteriormente, os quadros elétricos da esquerda, da direita e o quadro hidráulico são constituídos por um barramento de cartas BeckHoff:

Cartas de entrada digitais, estas cartas são responsáveis a aquisição de sinais booleanos a 24 V DC;

Cartas de entrada analógicas, as cartas de entrada analógicas podem ler sinais analógicos, em tensão, -10 a 10 V, e em corrente, 4 a 20 mA;

Cartas de saída digitais, as cartas de saída digital podem gerar sinais de saída, de 24 V DC;

Cartas de saída analógicas, estas cartas podem gerar sinais em tensão de 0 a 10 V ou de -10 a +10 V e em corrente com sinais a variar de 4 a 20 mA;

Cartas de alimentação, estas cartas têm como função gerar diferentes tensões de saída a partir de uma tensão de entrada de 24 V DC, para alimentar as restantes cartas;

Cartas de fim de barramento, estas cartas colocadas no final do terminal de bus são necessárias, mas apenas tem como função a troca de informação entre o *Bus Coupler* e os *Bus Terminals*.

O quadro principal identificado na Figura 9 que recebe a maioria dos componentes este é constituído por:

IPC da BeckHoff;

Módulos de I/O da BeckHoff, semelhantes aos restantes barramentos de I/O;

Disjuntor eletrónico da Murrelektronik, o MICO, é um sistema que permite a distribuição de energia para circuito de 24 V DC. Este monitoriza a corrente dos seus quatro canais e em caso de erro desliga o canal afetado sem alterar as restantes cargas. O MICO também atenua as correntes de pico iniciais através de diferentes atrasos nos diferentes canais.[10]

Drivers de controlo dos motores e válvulas;

Fonte de alimentação de 24 VDC;

Sensor de temperatura do tipo Resistance Temperature Detectors (RTD), PT100;

Ar Condicionado;

2.5. SOFTWARE

Ao nível do software a PV apoia-se num sistema operativo Windows (instalado no IPC) que corre os *software* MES e ERP responsáveis por apresentar à equipa responsável pela produção as ferramentas necessárias para efetuarem um melhor controlo e planeamento de todo o processo. Porém, esta não é a sua única função, uma vez que é responsável por correr o *software* para programação e controlo do PLC da PV, o TwinCat.

O TwinCat segue a norma IEC 61131-3, o que estabelece um *standard* de 6 linguagens de programação² para a criação do programa no PLC, duas linguagens textuais e quatro linguagens gráficas. Estes podem trabalhar em conjunto para a realização das diferentes tarefas na programação.[11]

O programa da PV segue o fluxograma apresentado na Figura 10, assim inicia o ciclo de vulcanização com a verificação do estado da máquina. Isto é, verifica se existe um plano para a produção de algum tipo de pneu, se a temperatura das cavidades é a correta, se a temperatura do diafragma é a correta e inicia o registo dos dados. Caso alguma das condições iniciais não se verifique é necessário emitir avisos para que o operador corrija

² Estas consistem em duas linguagens textuais, IL (Instruction List) e ST (Structured Text), e duas linguagens gráficas, LD (Ladder Diagram) e FBD/CFC (Function Block Diagram/ Continuous Function Chart). Os elementos do SFC (Sequential Function Chart) são definidos para estruturar a organização interna dos programas e FB's do controlador programável.

estas situações, colocando manualmente a PV a executar estas ações. Assim, que esta situação esteja regularizada é iniciado em modo automático o processo de vulcanização.

A PV começa por receber ordens para pegar num “pneu verde”. Nesta etapa é verificado se existe pneu no carregador, em caso negativo esta verifica se este existe no GTS. Aqui caso também não exista pneu é emitido um alerta e o processo fica em espera até receber um “pneu verde”, porém se existir “pneu verde” o ciclo continua normalmente. O carregador desce, abre as pás e sobe com o pneu. Assim, que chega à posição de cima espera para carregar a PV.

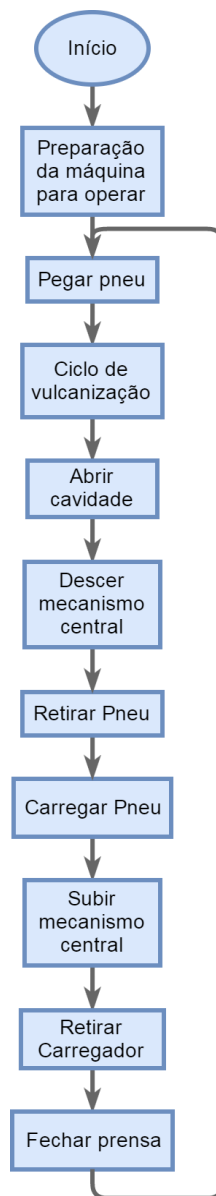


Figura 10 Fluxograma geral do ciclo de vulcanização

No caso de se encontrarem reunidas as condições para a realização do ciclo de vulcanização e não existir um ciclo de vulcanização em curso, a extremidade superior sobe e o mecanismo central desce.

O carregador desce para a posição de entrada na cavidade, e move-se para dentro da PV com um movimento rotacional, de modo a que o centro do “pneu verde” no carregador fique alinhado com o centro do mecanismo central. Atingida esta posição o carregador desce e o mecanismo central sobe.

Assim que o carregador chega à posição inferior no interior da PV e o mecanismo central se encontra na posição e travado, o sistema faz com que o diafragma comece a insuflar e em paralelo o carregador retraí as pás e sobe para de seguida sair, executando um movimento semelhante ao de entrada.

Depois de o carregador se encontrar fora da cavidade, esta começa a descer para fechar. No momento em que é até atingida esta posição, os travões de segurança são ativados, para garantirem as condições de segurança e pressão de vulcanização durante todo o ciclo. Neste momento a PV já se encontra a vulcanizar e o carregador pode executar novamente o processo de pegar no pneu.

O ciclo de vulcanização dura aproximadamente 11 minutos, neste ciclo são controladas as variáveis de temperatura e pressão de modo a satisfazer as condições de vulcanização. No entanto o tempo de vulcanização, bem como as restantes condições, são características intrínsecas do pneu e são adquiridas inicialmente com o plano de produção da PV.

No final do ciclo de vulcanização são destravados os travões acionados anteriormente, de modo a que, a cavidade superior possa subir. Depois desta atingir a sua posição superior o diafragma é esvaziado, o mecanismo central destravado e recolhido. Neste momento existe um pneu acabado de vulcanizar e por isso ainda quente no interior da PV.

Agora, o descarregador é ativado e entra no interior da cavidade, com um movimento rotacional seguido de um movimento descendente para o interior do pneu. Uma vez, terminado este último movimento as pás do descarregador expandem de modo a que o carregador possa transportar o pneu. Seguidamente o carregador inicia o seu movimento ascendente, seguido por um movimento no plano horizontal em direção ao exterior da PV. Depois de estar no exterior da PV, o carregador inicia um novo processo de carregar pneu.

Enquanto o descarregador desce ao nível do tapete e recolhe as pás para descarregar o pneu, regressando à posição anterior. O tapete aguarda que outro ciclo de vulcanização esteja completo antes de iniciar o seu movimento de modo a que o pneu que lá se encontra possa arrefecer lentamente evitando danos por arrefecer em superfícies irregulares.

Este processo de vulcanização é repetido continuamente enquanto as condições necessárias para a vulcanização estiverem preenchidas.

2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PRENSA DE VULCANIZAÇÃO

A PV apresentada anteriormente tem como principais vantagens:

Os mecanismos de travagem serem fora da zona de alta temperatura, o que permite maior durabilidade e segurança dos componentes;

Permite uma ótima concentricidade do pneu;

Permite o controlo das cavidades de modo independente;

Permite dispor as cavidades em linha ou com um ângulo entre elas para poupar espaço;

Melhor manutenção devido ao fácil acesso aos diversos componentes;

Melhor tempo de ciclo e maior longevidade do material;

Melhor eficiência energética;

As características apresentadas, permitem inferir que a PV possui alguma versatilidade, durabilidade e eficiência. No entanto, um dos grandes problemas desta é a falta de segurança. A PV apresenta alguns sistemas de segurança, tais como:

Dispositivos de segurança especiais:

Barra de paragem de emergência, encontra-se na frente da cavidade superior, acoplado a este está o contacto de segurança. A barra de segurança ao ser pressionada para cima, pára os movimentos da PV.

Botão de paragem de emergência, encontra-se no painel de controlo. Ao ser pressionado todos os movimentos da PV são imediatamente interrompidos.

Dispositivos de segurança automáticos:

Bloqueio pneumático através de trincos, este bloqueio mantém a posição da cavidade superior, enquanto a PV está totalmente aberta, de modo a que esta não caia em caso de falha do sistema hidráulico;

Libertação da pressão interior, só ocorre quando o interruptor desbloqueia as válvulas de fluidos, a PV está fechada e bloqueada, foi atingida a força de fecho e o cilindro da força de fecho não está estendido ao máximo;

A PV só pode ser aberta depois da pressão interna ter sido aliviada.

Porém, estes sistemas de segurança por si só não são suficientes, pois existem diversas situações em que o operador tem que operar a PV com esta em movimento, e por vezes não tem acesso a nenhum destes mecanismos de segurança. O que pode provocar diversas situações que põe em risco a integridade física do operador. Assim, para ser possível melhorar a segurança da PV a empresa realizou uma análise de risco e criou o projeto ISCP com um caderno de encargos, identificando os riscos e possíveis soluções.

3. REQUISITOS DO ISCP

Ao longo deste capítulo será efetuado um estudo ao caderno de encargos, realizado pela empresa e serão apresentados os problemas de segurança que a PV possui, bem como, de algumas soluções.[12]

3.1. REQUISITOS

As alterações a realizar nas PV necessitam ser bem idealizadas e adaptadas as necessidades locais, para garantir que a produtividade³ se mantém aproximadamente ao mesmo nível. Um outro requisito importante é a aceitação dos equipamentos e sistemas de segurança por parte dos operadores, pois estes terão de operar diariamente com as alterações implementadas.

No entanto, para além destas condições de produção e manutenção, também é necessário permitir a realização das seguintes atividades:

Mudança e limpeza do molde;

Manutenção e mudança do diafragma;

Reparações e manutenção da PV;

³ Manter a produção de pneus vulcanizados ao nível atual, sem aumentar o número de pneus com defeito ou a atividade de manutenção.

Operações de controlo e verificação da produção;
Configurar o carregador durante o ciclo automático;

Estas atividades devem ser realizadas mantendo sempre todos os mecanismos de segurança ativos.

Em suma, o sistema de segurança que será implementado deve ser desenvolvido de modo a que o impacto nos padrões de qualidade e desperdício seja minimizado, no entanto garantindo sempre a segurança do operador.

O sistema de segurança, não deve ter impacto no ciclo de vulcanização, ou seja, o momento em que o “pneu verde” é cozido a alta temperatura e pressão. Porém, quando a PV encontra-se no momento de transição entre ciclos de vulcanização, esta executa movimentos perigosos⁴ que devem ser parados caso representem um risco para o operador. Estas alterações podem provocar um aumento da improdutividade, pois se os operadores não estiverem conscientes da paragem da PV esta fica parada até validação de que o operador de encontre em segurança. por isso deve ser realizada a formação dos operários, de modo a evitar este problema.

Ao nível da engenharia industrial, é necessário garantir que as sequências de vulcanização não sejam afetadas pelas medidas de segurança, mantendo a disponibilidade e capacidade de produção da prensa de vulcanização. Além disso, não deve ser aumentado o número de operadores por PV nem o esforço físico a que estes estão sujeitos, do mesmo modo a zona de armazenamento, próxima à prensa, para os “pneus verdes” não pode ser reduzida.

3.2. AVALIAÇÃO DO RISCO

O risco é a combinação da probabilidade de ocorrência e da consequência de um determinado evento perigoso, evento este que possui potencial para provocar danos.

Assim, a avaliação do risco surge como o processo para identificar potenciais perigos e analisar o que poderia acontecer caso esse perigo se concretizasse.

⁴ Movimento do carregador, cavidade, mecanismo central, descarregador e transportador.

3.2.1. ZONAS DE PERIGO

A PV possui quatro zonas perigosas, representadas na Figura 11, a zona de perigo frontal, a zona de perigo lateral, a zona de perigo traseira e a zona de perigo inferior.

Quando a PV está em funcionamento automático o operador apenas necessita de trabalhar na zona frontal da PV. O acesso às restantes zonas de perigo é realizado em caso de atividades especiais, tais como a manutenção da PV, mudança de molde ou em casos de erro e possíveis desperdícios de material.

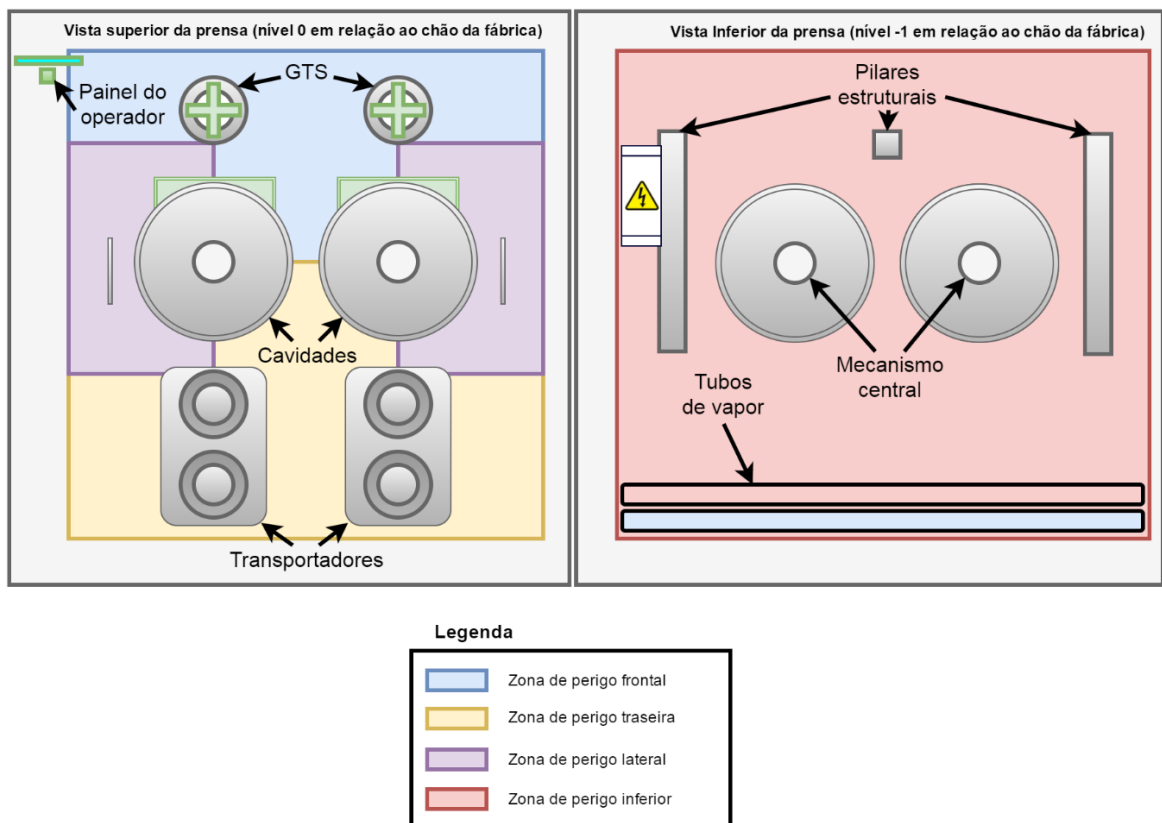


Figura 11 Zonas de perigo da prensa de vulcanização

A zona inferior é considerada um risco para a segurança, pois, é o local para onde o mecanismo central se move quando está na posição inferior. Esta última zona é suscetível de intervenções para manutenção e em caso de avaria, representando assim uma zona de trabalho perigosa.

3.2.2. OPERAÇÃO DE RISCO

A avaliação de risco apresentada foi realizada com base numa escala quantitativa, representada como *Risk Priority Number* (RPN). O valor obtido para o RPN deriva da

multiplicação de três fatores, *S* (a gravidade da lesão), a *W* (frequência ou a duração com que ocorre) e *E* (a possibilidade de identificar e evitar o perigo a tempo). Assim, com base no valor de RPN é decidido se deve ser feita uma intervenção num potencial perigo. Os principais riscos que foram indicados e que necessitam sofrer uma intervenção são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Movimentos perigosos da Prensa de Vulcanização

Estrutura	Zona de Risco	Situação	Perigo
<i>Extremidade Superior</i>	Frente Lateral Traseira	Fecho da extremidade superior	Esmagamento Impacto Cisalhamento
<i>Mecanismos de Bloqueio da Cavidade</i>	Frente Lateral Traseira	Bloqueio da Cavidade	Esmagamento Cisalhamento
<i>Mecanismo Central</i>	Frente Lateral Traseira Inferior	Movimentos das partes do mecanismo central	Esmagamento Impacto Corte Aprisionamento
<i>Carregador</i>	Frente Lateral Traseira	Rotação e movimento descendente	Esmagamento Impacto Corte
<i>Descarregador</i>	Frente Lateral Traseira	Rotação e movimento vertical	Esmagamento Impacto Corte
<i>Transportador</i>	Traseira	Movimento	Esmagamento Impacto Corte

3.3. SOLUÇÕES DE SEGURANÇA

No caderno de encargos realizado pela Continental, estão previstas linhas orientadoras para a solução deste problema. Estas baseiam-se na utilização de mecanismos de segurança que possam minimizar o risco de acidente na PV ou parar os movimentos perigos caso o operador se encontre nestas zonas, estas soluções são descritas na Tabela 3.

Tabela 3 Soluções de segurança

<i>Estrutura</i>	Segurança	Segurança Adicional
<i>Extremidade Superior</i>	Scanner Barreiras Fixas ou Barreiras Óticas	Barra de segurança ou Bumper de Segurança
<i>Mecanismo Central</i>	Scanner Barreiras Fixas	
<i>Carregador</i>	Scanner	Velocidade/força reduzida Bumper de segurança em anel
<i>Descarregador</i>	Scanner Barreira Fixa ou Barreiras Óticas	
<i>Transportador</i>	Barreira Fixa ou Barreiras Óticas	

As barreiras fixas têm como função impedir o acesso às zonas perigosas da PV reduzindo também a área de perigo destas. Os restantes mecanismos têm como objetivo impedir os movimentos da PV associados as zonas de perigos em que se encontram. Assim, sempre que o operador entra nas zonas de perigo, a PV pára o seu movimento e como consequência anula o risco associado à zona de perigo, salvaguardando sempre o bem-estar do operador.

A segurança da zona inferior apenas será realizada por barreiras fixas, que servem para restringir o acesso à zona do mecanismo central, bem como reduzir o risco de acidente quando o mecanismo de bloqueio inferior é acionado.

Porventura, podem existir situações em que a segurança na zona de perigo necessite ser redobrada, resultando na adoção de medidas adicionais de segurança. Isto é, a utilização de sensores e de sinalização, aliada com a redução da velocidade e força dos movimentos, permitem uma melhor identificação e prevenção do perigo, reduzindo o risco de acidente.

3.4. LAYOUT GERAL DE SEGURANÇA

Uma disposição geral dos diferentes mecanismos de segurança é apresentada na Figura 12, esta incorpora as diferentes soluções apresentadas na Tabela 3. Este layout dos dispositivos de segurança permite obter uma perceção da solução pretendida pela empresa,

possibilitando alcançar uma solução o mais standard possível para as diferentes PVs e entre as diferentes empresas do grupo. Este layout apresenta diferentes soluções que podem resolver o mesmo problema, pois em determinadas situações uma das soluções pode revelar-se mais vantajosa.

Na zona de perigo frontal está previsto aplicar:

Scanner de segurança S3000, para controlo de acesso à área frontal;

Grades fixas ou *bumper*, para proteção das cavidades;

Grades fixas laterais, para diminuição da área vermelha;

Sinalização e botões de *reset*;

Sinal de PV fechada e travada, para controlo do estado da cavidade;

Bumper de segurança no carregador, para identificar e minimizar possíveis colisões com pessoas ou objetos

Nas zonas de perigo laterais está previsto a instalação de grades fixas que impeçam o acesso à PV a partir desta zona, pois esta é uma localização em que não está previsto o acesso, pois não necessita de manutenção.

Na zona traseira podem ser instaladas algumas soluções para o mesmo problema, pois depende das características da PV e do local de instalação. Assim, estão previstas as medidas:

Barreiras óticas com botão de *reset*, para controlar o acesso ao transportador;

Barras fixas, portas com interruptor de segurança e botões de *reset*, que permitem controlar o acesso à zona traseira;

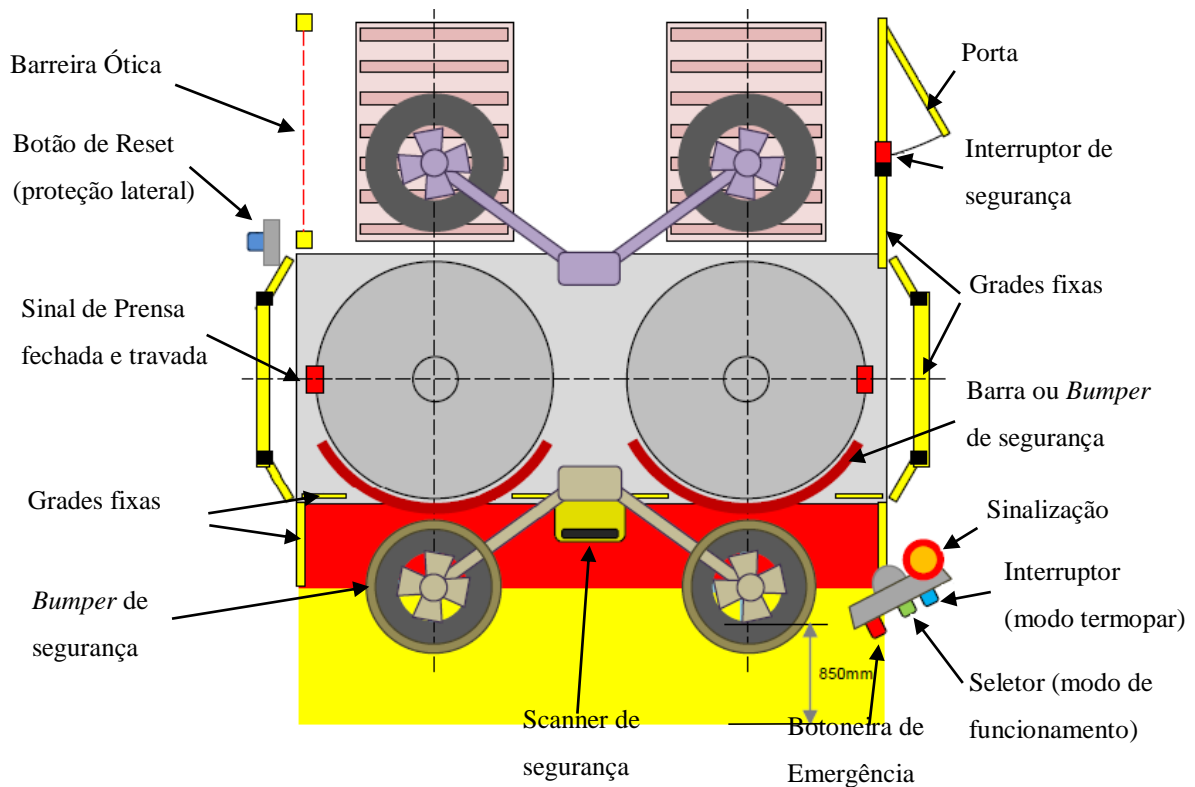


Figura 12 Layout de segurança da prensa de vulcanização

3.4.1. SCANNER

A zona de segurança de segurança frontal que deve ser monitorizada por um scanner de segurança. Nesta zona estão previstas duas áreas de segurança, uma área que pare os movimentos perigosos associados à zona frontal (área vermelha), e uma segunda área que apenas pare o movimento do carregador (área amarela), como apresentado na Figura 13. Isto permite garantir a segurança do operador e manter a produtividade da PV.

A área de segurança amarela deve estar compreendida entre o centro do GTS até uma distancia de pelo menos 850 mm, no sentido oposto da PV, somando metade do raio interno do maior pneu a vulcanizar, como apresentado na Equação 1. Esta área de segurança é responsável por parar todos os movimentos perigosos do carregador, além disso não necessita de *reset* para continuar o processo em execução.

$$\text{Comprimento Área Amarela} = \left(\frac{\text{Raio interno do pneu}}{2} * 2.54 \right) + 850. \quad (1)$$

A área de segurança vermelha deve estar compreendida entre o início da cavidade até ao centro do GTS, considerando a posição de carregamento. Porém, é necessário garantir 850 mm desde a extremidade do mecanismo central, apresentado na Figura 13.

A área de segurança vermelha pára todos os movimentos da PV, em oposição à área amarela, e é necessário pressionar o botão de *reset*, caso a área seja interrompida, para o processo em execução continuar.

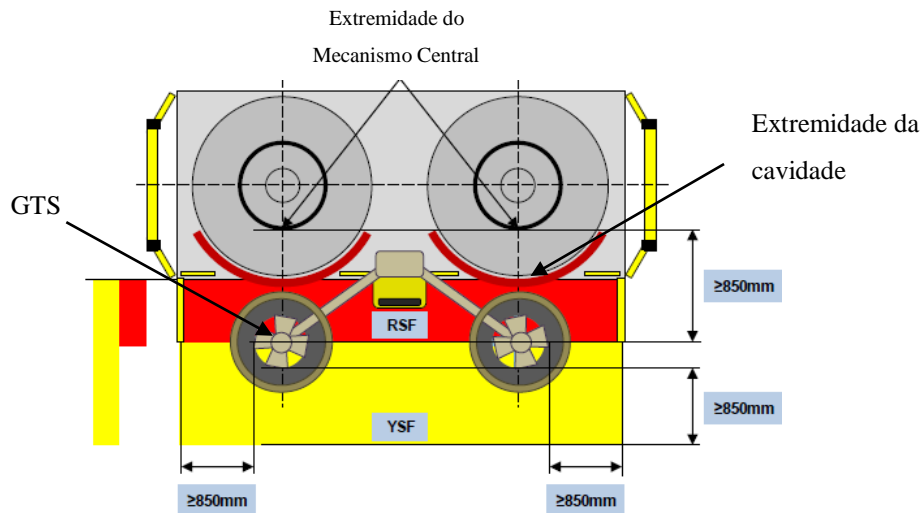


Figura 13 Áreas de segurança do scanner

No entanto, se a cavidade estiver fechada e bloqueada estão reunidas as condições para a área vermelha ficar temporariamente suspensa, contudo é necessário existir um sistema de detecção de PV fechada. Este sistema de detecção consiste em analisar sinais redundantes, que indiquem que a PV está fechada.

Devido à diversidade de PV instaladas e à sua disposição, poderão surgir situações em que a área de segurança amarela tenha que ser reduzida devido às condições do ambiente. Assim, é necessário acrescentar medidas de segurança adicionais:

Redução da força ou velocidade do carregador, minimizando o risco e permitindo ao operador identificar o risco;

Bumper ou barra de segurança no carregador, assim caso um destes dispositivos seja acionado o movimento do carregador pára;

3.4.2. BARRA OU BUMPER DE SEGURANÇA DA EXTREMIDADE SUPERIOR

A utilização de uma barra ou *bumper* de segurança na frente da cavidade é um requisito obrigatório, e um dos poucos sistemas de segurança existentes até então na PV. Esta barra ou *bumper* de segurança tem como função parar a descida da cavidade superior.

Porém, podem surgir situações em que a distancia mínima para área vermelha não possa ser cumprida, logo a segurança não está garantida. Assim, a barra de segurança surge como um segundo nível de proteção, contudo esta tem que ser melhorada para compensar esta lacuna. Isto pode ser realizado de dois modos:

Grades fixas prolongadas;

Barra ou *bumper* de segurança otimizado.

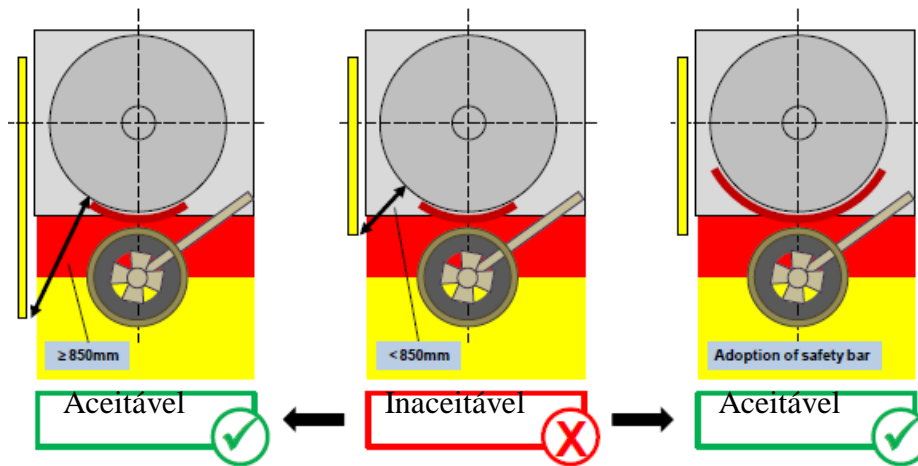


Figura 14 Soluções para a área vermelha minimizada

3.4.3. SOLUÇÕES PARA A ZONA TRASEIRA DA PRENSA DE VULCANIZAÇÃO

A segurança na zona traseira da PV pode ser realizada com recurso a diferentes dispositivos. A solução implementada depende do tipo de PV, da sua disposição na área fabril. As possíveis soluções indicadas para resolver este problema, aproximando-se do layout representado na Figura 12, são:

Barreiras óticas próximas do transportador, com botão de *reset*;

Grades até metade do transportador, com barreiras óticas a separar a primeira posição de descanso no transportador, da segunda posição de descanso;

Grades com porta e interruptor de segurança eletromagnético ou interruptor de segurança normal;

No caso de um destes dispositivos ser acionado numa das diferentes soluções apresentadas, os movimentos da PV são interrompidos até o sistema receber o sinal do botão *reset*. Este deve ser colocado próximo ao ponto de acesso na zona traseira, além disso tem como função indicar ao sistema de segurança que ninguém se encontra na zona de risco e a PV pode operar normalmente. Apenas a solução com o interruptor eletromagnético funciona de modo diferente, pois não permite o acesso à PV durante os movimentos perigosos desta.

3.4.4. SOLUÇÕES PARA A ZONA INFERIOR DA PRENSA DE VULCANIZAÇÃO

A zona inferior da PV é protegida por grades fixas com portas de acesso. Nesta situação é necessário utilizar interruptores de segurança com botões de *reset* para garantir a segurança no acesso à zona de risco, tal como na zona superior. Contudo, neste caso o *reset* é necessário no botão junto à porta e no botão do painel de controlo.

3.4.5. SINALIZAÇÃO

A sinalização é um mecanismo de segurança importante para alertar o operador de possíveis perigos ou movimentos da PV e manter os níveis de produtividade, uma vez que a utilização de sinais luminosos e sonoros permite ao operador identificar possíveis avarias e antecipar movimentos da PV.

3.4.6. MODOS DE FUNCIONAMENTO

A PV necessita de modos especiais de funcionamento que permitam aceder as zonas de risco sem que os mecanismos de segurança parem a PV. Ou seja, é necessário realizar as atividades de manutenção, mudança de molde e medições na PV sem que esta pare, mesmo que a segurança seja violada.

Modo Termopar

O modo termopar só pode ser realizado pelos operadores quando estes se encontram dentro da área amarela ou vermelha da PV, durante o ciclo automático ou manual da PV. Logo é necessário as áreas do scanner fiquem desabilitadas enquanto este modo se encontrar ativo.

O modo termopar apenas é acedido por operadores especializados que devem possuir uma chave para o efeito. Esta chave com interruptor de duas posições, com retorno automático à primeira posição, garante que o modo termopar apenas fica em funcionamento enquanto o operador forçar a chave para tal.

Modo de Serviço

O modo de serviço é destinado ao processo de mudar o molde, mudar o diafragma e manutenção, em que é necessário mover peças pela PV, invadindo as áreas de segurança do scanner e zonas de risco. Tal como no modo termopar, também é necessário a utilização

de uma chave com interruptor de duas posições, com retorno automático à primeira posição.

Este modo é selecionado por um interruptor de três posições no painel de controlo⁵ (este tem que estar no modo mudança de molde) e pela chave comutada na segunda posição antes de algum movimento ser executado, assim as áreas de segurança do scanner são silenciadas e os movimentos da PV não param. Neste modo são necessários pelo menos dois operadores, um que opera o painel de controlo, manobrando a PV e rodando a chave, e um segundo que pode invadir as zonas de risco para efetuar as intervenções na PV. Na eventualidade de o segundo operador se encontrar a invadir a zona de risco traseira ou inferior, é necessário que este pressione o botão de *bypass* para a PV realizar os movimentos, silenciando a segurança da zona. Os botões de *bypass* devem ser colocados de modo a que quando o movimento ocorrer o operador não seja atingido.

3.5. DESCRIÇÃO DOS MÓDULOS DE SEGURANÇA

O caderno de encargos do projeto do ISCP prevê algumas medidas e dispositivos de segurança, obrigatórios e opcionais, para implementar nas PV. Neste subcapítulo é realizada a análise aos diversos dispositivos que poderão ser implementados no projeto do ISCP.

Na zona frontal será instalado o scanner de segurança da SICK S3000, nas zonas laterais e traseiras e inferiores serão utilizadas barreiras óticas ou barreiras fixas com portas e alguns acessórios de segurança. O autómato responsável por controlar todo este sistema de segurança é o FX3-CPU1 da SICK.

3.5.1. SCANNER

O scanner de proteção a laser utilizado é o S3000 da SICK, é o scanner de segurança indicado no caderno de encargos e é utilizado para proteger pessoas e sistemas num ambiente fechado. O scanner é adequado para proteger zonas e pontos de perigo, monitorizar acessos à máquina e proteger veículos industriais elétricos, desde que estes possuam controlo elétrico.

⁵ Seletor do modo em que a prensa se encontra, modo automático, modo manual ou modo mudança de molde.

O S3000 é um scanner com um sensor ótico que realiza o scan, em duas dimensões, na sua área envolvente utilizando raios laser infravermelhos. Este baseia-se no princípio da medição do tempo de voo, isto é, o scanner envia pulsos de luz, tal como representado na Figura 15, ao mesmo tempo que ativa um contador, quando a luz atinge um objeto, é refletida e recebida pelo S3000. Assim, com recurso à diferença de tempo em que demora a chegar a luz ao objeto e a ser refletida (Δt) e com base na velocidade da luz é possível obter a distância ao objeto. Porém, utilizando apenas este sistema de medição não é possível ler uma área, mas apenas um segmento de reta. Portanto, para ser possível ler toda uma área, o S3000 recorre a um espelho que roda a uma velocidade constante e que deflete os pulsos de luz de modo a que estes cubram toda uma área em arco de circunferência com uma abertura de 190°.[13]

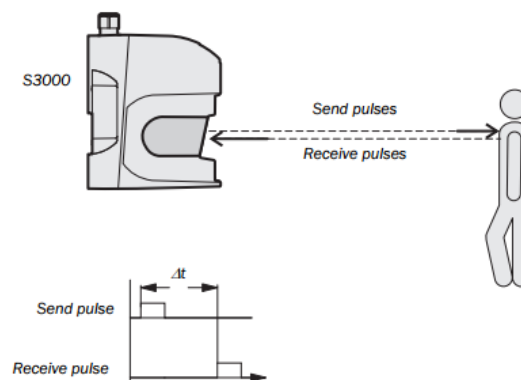


Figura 15 Princípio de funcionamento do scanner de segurança S3000 da SICK

O scanner possui uma resolução angular de 0.25° e um tempo de resposta de 120ms ou 0.5° com um tempo de resposta de 60ms. A menor resolução permite identificar objetos menores, porém aumenta o tempo de resposta.

O scanner de segurança permite definir campos de segurança ou de alarme na sua área de leitura.

Os campos de segurança são indicados para a proteção da máquina ou do veículo, assim, sempre que o scanner detete um objeto neste campo muda o OSSD⁶ (Output Signal Switching Device) para o estado de desligado, isto é, desliga o circuito de corte o que provoca a paragem ou encerramento da máquina.

⁶ O OSSD é uma saída comutada por transístores do tipo PNP com proteção contra curto circuito, proteção contra sobretensão e deteção de ligações cruzadas entre canais, estes podem comutar circuitos alimentados por corrente contínua, como contactores e relés, normalmente até 500 mA.

Os campos de alarme, tem como função emitir alarmes, ou reduções de velocidade em AGV's (Automated Guided Vehicle), porém não é permitida a utilização de campos de alerta para tarefas relacionadas com a proteção de pessoas.

O S3000 permite selecionar um dos três modos de campo:

Dual, que permite definir um campo de segurança e um campo de alerta;

Dual protective fields, que permite definir dois campos de segurança em simultâneo;

Triple, que permite selecionar um campo de proteção e dois campos de alarme.

O scanner de segurança da SICK utiliza a interface de comunicação EFI (Enhanced Function Interface) que tem como propósito implementar comunicação segura entre dispositivos de segurança. Os dispositivos que utilizam EFI para comunicar podem ser ESPE (Electro-sensitive protective equipment) como o scanner S3000 ou a cortina ótica de segurança C4000, PLC's de segurança da Sick ou EFI *gateways*⁷.

O EFI é um sistema bus linear, que permite até quatro dispositivos ligados ao barramento bus, porém o número de dispositivos depende da aplicação ou do produto.

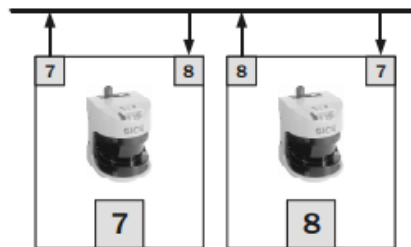


Figura 16 Barramento EFI

Para ser possível a comunicação por EFI é necessário que cada dispositivo ligado possua um endereço único. Na Figura 16, o dispositivo 7 é o *host* e o 8 é o *guest*. O *host* recebe pelo endereço 8 a informação dos OSSDs e mensagens de diagnóstico em caso de contaminação, o *guest* no entanto recebe pelo endereço 7 os valores do *encoder* incremental do *host*.

Os controladores de segurança recebem através destes endereços informação sobre o estado dos dispositivos ESPE ou controlam as funções associadas a estes, como o *muting*,

⁷ As EFI *gateways* permitem a comunicação com outros dispositivos de alto nível por PROFIBUS, CANopen, TCP/IP ou PROFINET

operating mode switch, etc. O controlo realizado pelo PLC de segurança pode também ser realizado por outros PLC's, desde que estes utilizem as EFI gateways como interface entre os dois sistemas. Os endereços atribuídos aos dispositivos EFI já estão pré-definidos pela SICK.

Na rede EFI cada dispositivo apenas envia a informação do seu estado numa trama com um comprimento máximo de 26 bits de dados, esta informação não é endereçada a nenhum dispositivo específico, isto é, todos os dispositivos na rede EFI podem receber os dados.

Na receção as tramas já são filtradas tendo em conta o número máximo de tramas que um dispositivo pode receber e os endereços de onde pode receber, estes parâmetros são pré-definidos pela Sick.[14]

O S3000 também utiliza uma função especial o EDM (External Device Monitoring), esta função verifica se os contactores comutam quando o dispositivo é acionado. O controlador confirma se a comutação dos contactores está em ordem, quando o dispositivo de segurança é acionado, e antes do *restart* da máquina, analisando o tempo de resposta e a comutação NC (Normally Closed) dos contactores.[13]

Segundo o gráfico da Figura 17, quando o dispositivo de controlo, como o scanner S3000, é acionado envia a ordem aos dispositivos de acionamento para comutarem. Assim, analisando o desfasamento temporal entre a ordem de comutação e o feedback de controlo, o sistema verifica se este tempo é superior ao tempo espectável para a comutação, e caso o seja a função EDM aciona a saída de erro.

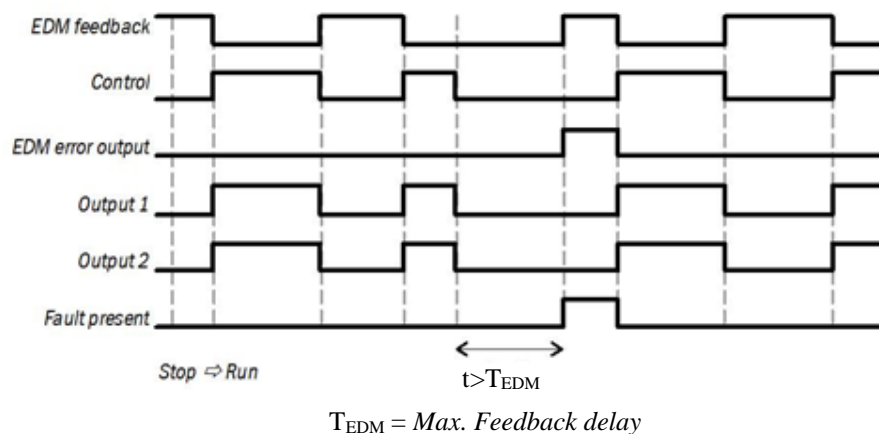


Figura 17 Princípio de funcionamento da função EDM

3.5.2. BARREIRAS ÓTICAS

As barreiras óticas que autorizadas no caderno de encargos são a C2000 e M2000 da SICK. A barreira ótica de cortina C2000 são mais indicadas para a proteção de partes do corpo devido à sua resolução entre 20 mm e 40 mm, enquanto que a barreira ótica de múltiplos feixes é mais indicada para proteção de objetos maiores ou pessoas.

Estes sistemas de proteção dispõem de uma unidade de emissão e uma unidade de recepção, os feixes luminosos emitidos pela unidade de emissão e recebidos pela unidade de recepção determinam um campo de proteção definido pelo numero de feixes e pela distancia existente entre eles. As barreiras fotoelétricas permitem a codificação do seu feixe luminoso de modo a que o recetor identifique corretamente os feixes emitidos pelo seu emissor, de modo, a que a emissores e recetores diferentes não interfiram entre eles. Porém apenas dois pares de emissores/recetores podem ser montados na envolvente imediata, como apresentado na Figura 18. A codificação dos feixes é regulada aplicando uma corrente elétrica de 0V aos pinos SEL1 e SEL 2 do recetor e emissor, ou deixando os pinos sem ligação.

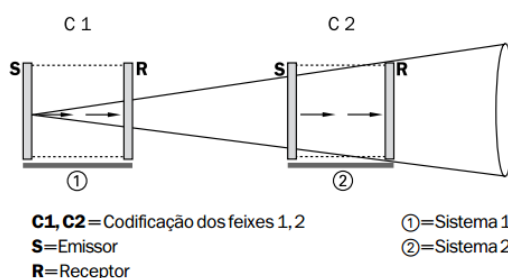


Figura 18 Distribuição dos emissores dos dispositivos C2000 e M2000

Quando um objeto invade o campo de proteção é emitido um sinal de paragem pela unidade de recepção, que provoca a paragem do movimento perigoso da máquina. Tal como, o *scanner* de segurança estas barreiras possuem a função EDM para a verificação do correto funcionamento do dispositivo de comutação. Estas ainda possuem a função *restart*, que previne um rearme acidental da máquina, pois se um feixe de luz for interrompido a tecla de rearme deve ser pressionada após a libertação do feixe, caso não se verifique estas condições a máquina não arranca.

As barreiras óticas permitem a montagem em cascata, como apresentado Figura 19, ou seja, ligar até três barreiras óticas em série. Apenas o primeiro dispositivo é ligado ao comando da máquina e toda a instalação comportar-se-á de modo semelhante a um par emissor e recetor.[15]

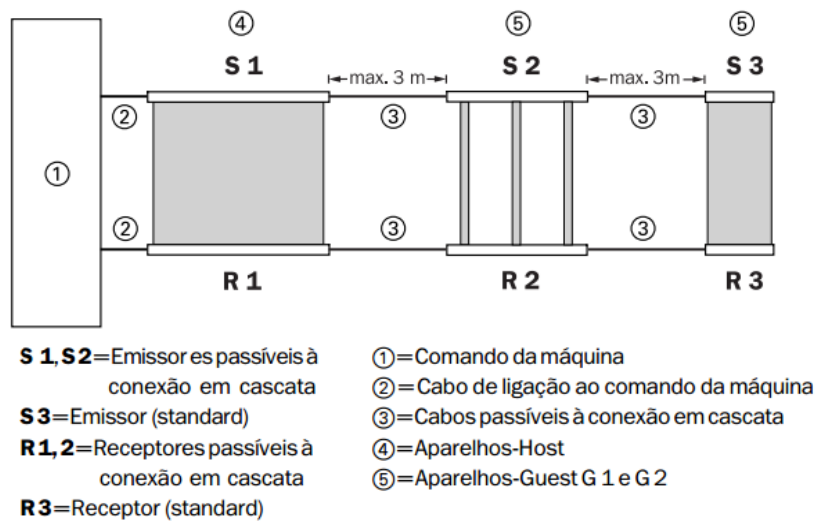


Figura 19 Cascata de barreiras óticas

3.5.3. DISPOSITIVOS PARA BARREIRAS FIXAS

As barreiras fixas são uma solução mais económica e robusta quando comparado com a solução das barreiras óticas. Porém, estas por si só não são a solução para minimizar a zona de perigo. Isto é, o operador necessita de aceder à zona inferior e traseira da máquina e no caso de existirem barreiras físicas a impedir o acesso, um dos objetivos do projeto não é cumprido, o fácil acesso à máquina.

Assim, para a solução das barreiras fixas ser viável é necessário introduzir portas com interruptores de segurança, o TR4, o I17 ou I14 da SICK.

O TR4 é um interruptor de segurança eletrosensitivo, que utiliza a tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*), é constituído por dois componentes, um sensor (que atua como RFID reader) e um atuador codificado (que atua como transponder). O sensor é fixo na estrutura fixa da grade de proteção enquanto que o atuador codificado é fixo na porta móvel, como é apresentado na Figura 21.

Assim, sempre que o atuador está próximo do campo eletromagnético gerado pelo sensor, por indução magnética é transferida energia e seguidamente dados de um dispositivo para outro.

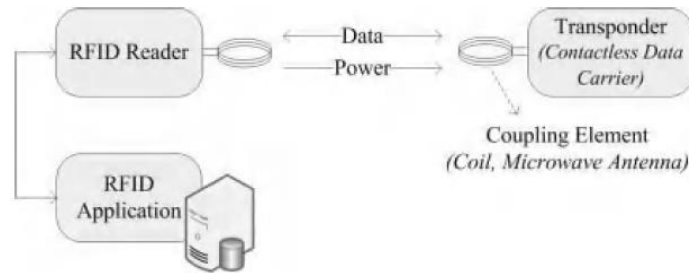


Figura 20 Principais componentes do sistema RFID[16]

Se a porta estiver fechada o atuador está próximo do sensor, o código do atuador é lido pelo sensor e caso o atuador seja válido e a saída OSSD fica fechada e a saída auxiliar OUT fica aberta. No caso de a porta se abrir o OSSD fica aberto e a saída OUT fechada.

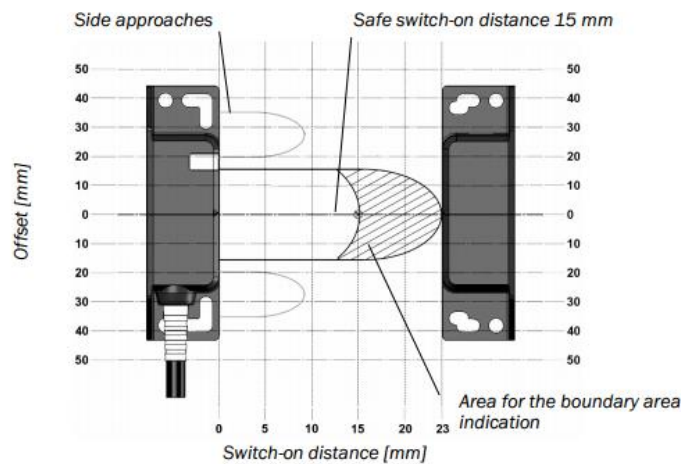


Figura 21 Distância de comunicação do TR4

Os sensores TR4 podem ser utilizados em separado ou em cascata, realizando uma ligação em série com um limite de 30 sensores devido ao tempo de resposta aumentar.[17]

Uma outra opção para garantir a segurança das portas de acesso é interruptor de segurança com atuador separado, o I17 da SICK, é um *interlock* de segurança eletromecânico. Este é composto por duas peças, uma instalada na porta e outra na parte fixa da grade, e devem ser colocados com uma distancia máxima de 2 mm, tal como representado na Figura 22.

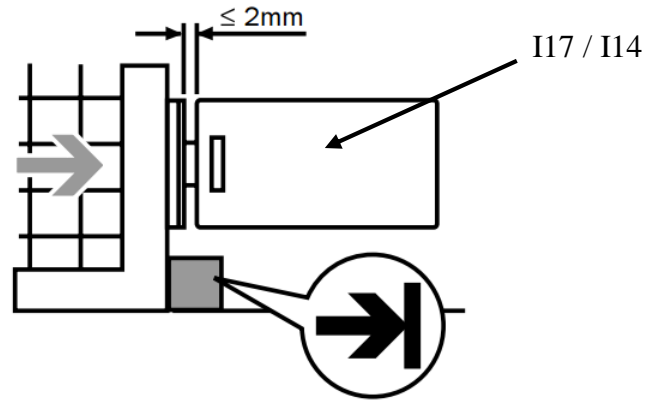


Figura 22 Montagem do dispositivo de segurança I17 ou I14

O I17 garante a segurança das portas, pois a máquina só pode efetuar ações perigosas se a porta estiver fechada, caso a porta seja aberta, é emitido um sinal de STOP. Isto é o atuador é removido de dentro do dispositivo e os contactos 11,12, 21 e 22 são abertos, fechando os contactos 33e 34, tal como representado na Figura 23, permitindo ao controlador parar os movimentos perigosos da máquina.[18]

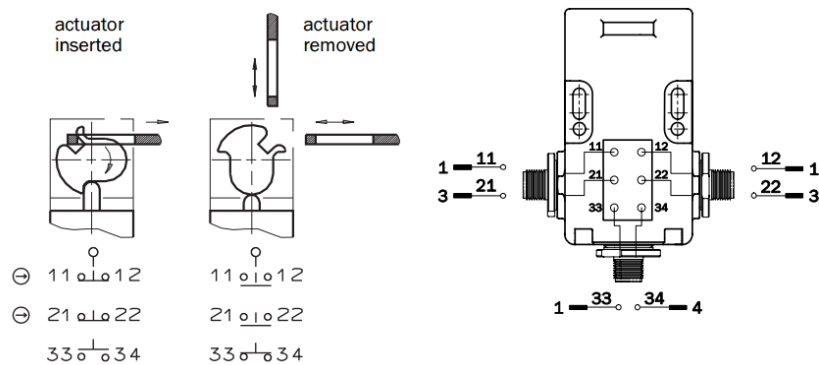


Figura 23 Interruptores e contactos do dispositivo I17

A última opção indicada, para uma possível aplicação em conjunto com as barreiras de segurança fixas, é o dispositivo I14 da SICK. Este possui um sistema de fecho *interlock* operado por solenoide e é composto por duas partes independentes, apresentado na Figura 24. O princípio de fecho deste dispositivo baseia-se numa mola que mantém o pino de travagem na posição travado, uma vez que a bobine seja alimentada, nos pinos E1 e E2, irá recolher o pino de travagem e a porta fica destravada. Este método de funcionamento garante que caso a bobine deixe de ser alimentada, intencionalmente ou acidentalmente, a porta não possa ser aberta.[19]

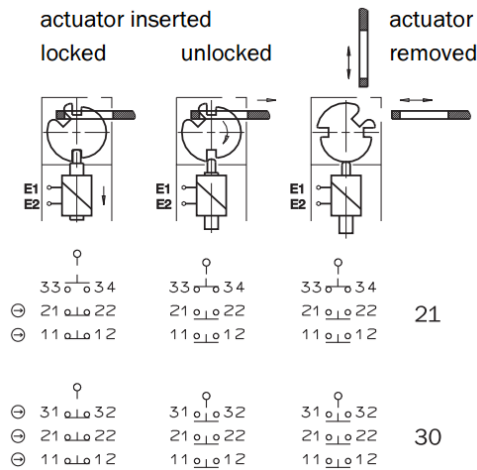


Figura 24 Interruptores e contactos do dispositivo I14

Assim, o dispositivo I14 apenas permite o normal funcionamento da máquina quando a porta da barreira de segurança se encontra fechada e travada, e as portas só podem ser abertas quando o controlador alimentar a bobine.

3.5.4. MEDIDAS DE SEGURANÇA ADICIONAIS

As medidas de segurança adicionais propostas são a utilização de uma barra ou *bumper* de segurança para proteger o operador no movimento de fecho da extremidade superior ou na descida do carregador. A este último também pode ser reduzida a velocidade ou força para minimizar o risco nas operações.

A barra de segurança é um dispositivo mecânico simples, representado no subcapítulo 2.2.4 na Figura 6 pelo elemento 6, ao qual está acoplado um sensor fim de curso responsável por enviar um sinal ao PLC da PV sempre que a barra seja pressionada. Este dispositivo possui algumas lacunas no seu funcionamento, pois permite por vezes que o operador pressione a barra de segurança sem que qualquer sinal seja emitido para a PV e permite que seja colocada a mão entre a barra de segurança e a proteção da cavidade superior, anulando o seu propósito.

O *bumper* de segurança é uma alternativa à barra de segurança, é utilizado para proteger arestas que possam causar esmagamento ou corte. Este é construído com um perfil de borracha com uma forma especial, de modo a proteger o contacto de segurança e permitindo que o seu angulo de atuação seja superior a 90°. A extremidade deste componente é ligada em série com uma resistência que está constantemente a ser

monitorizada pelo controlador. Assim, sempre que o *bumper* seja pressionado o controlador consegue identificar variações na corrente devido ao contacto entre as duas superfícies condutoras e comunicar essa informação ao PLC, como apresentado na Figura 25, minimizando o dano pois a aresta é protegida pela camada de borracha.[20]

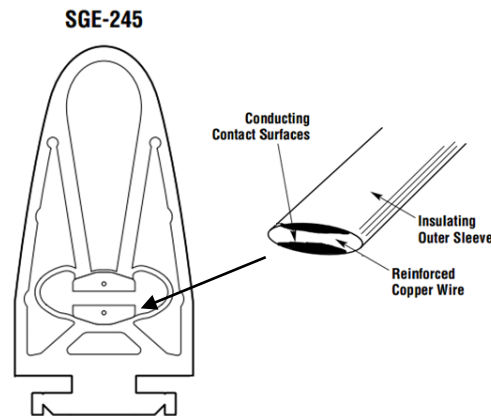


Figura 25 Constituição do *bumper* de segurança

3.5.5. SISTEMA *FLEXI SOFT*

Os mecanismos de segurança previstos necessitam de um controlo contínuo e fiável, de modo a garantir a segurança do operador e da máquina, o sistema responsável por este controlo é o Flexi Soft.

O sistema Flexi Soft é a interligação de todos os componentes de segurança através de um sistema modular e flexível, este permite a ligação dos componentes de segurança referidos anteriormente de modo simples e seguro. Este sistema é composto por um módulo principal, o PLC de segurança, até duas *gateways*, para comunicação com outros sistemas, e 12 módulos de I/O (Input/Output).

O PLC de segurança é a unidade central de processamento e permite programar em *function block*, com recurso às funções standard, como AND, OR, NOR, XNOR, XOR, e blocos de funções específicas, como *emergency-stop*, *two-hand*, *muting*, *operating mode selector switch*, reset, restart, EDM, entre outras, este ainda possui duas interfaces EFL. Neste módulo é realizada toda a monitorização dos sinais e o seu processamento lógico, por sua vez saídas são comutadas de acordo com o resultado do processamento.[17]

As *gateways* permitem a comunicação não segura entre o sistema Flexi Soft e sistemas *fieldbus* externos, para ações de controlo e diagnóstico, as *gateway* Flexi Soft não

suportam nenhum mecanismo de segurança na comunicação, logo não são indicadas para funcionarem em redes *fieldbus* seguras.

No sistema Flexi Soft, cada *gateway* apenas se destina a um tipo de comunicação, existem sete tipos de *gateways*, logo este sistema permite a comunicação com sete tipos de redes diferentes, porém apenas duas em simultâneo, descritas na Tabela 4.

Tabela 4 Tipos de rede permitidos no sistema *Flexi Soft*

Gateway	Tipo de rede	Ethernet TCP/IP socket interface	TCP/IP configuration interface
FX0-GENT	EtherNet/IP explicit messaging EtherNet/IP implicit messaging	Cliente/servidor	Porto 9000
FX0-GMOD	Modbus TCP master & slave receive method	Cliente/servidor	Porto 9000
FX0-GPNT	PROFINET IO slave conformance class A	Cliente/servidor	Porto 9000
FX0-GETC	EtherCAT slave	–	Porto 9000, disponível apenas depois de configurado o EoE (“Ethernet over EtherCAT”)
FX0-GPRO	PROFIBUS DP slave	–	–
FX0-GCAN	CANopen slave	–	–
FX0-GDEV	DeviceNet-Slave	–	–

Os dados recebidos e enviados através da rede estão organizados em data sets, com um tamanho máximo de 50 bytes cada. Estes blocos de dados estão divididos em cinco blocos de recepção e cinco blocos de emissão, cada bloco tem um determinado conjunto de bytes disponíveis. Nos cinco *data set* de emissão de dados para a rede, é possível enviar o estado dos módulos de I/O, os dados recebidos da segunda *gateway*, o estado dos módulos, os dados recebidos na EFI 1 e EFI 2 e por fim o estado dos diversos módulos ligados no Flexi Loop.[21]

3.5.5.1. FLEXI LOOP

O Flexi Loop é uma tecnologia desenvolvida pela SICK, que permite colocar em cascata até 32 sensores de segurança ligados a um controlador, enquanto mantem um elevado nível de performance. Os interruptores e sensores de segurança com saídas OSSD podem ser utilizados em conjunto, ligados ao nó do Flexi Loop, independentemente do fabricante. Com este sistema é possível obter para cada sensor ou interruptor a informação de diagnóstico detalhada, e ligar interruptores de dois canais, interruptores de segurança eletromecânicos ou sensores de segurança com OSSD.

A principal função dos nós Flexi Loop é permitir a monitorização rápida e segura dos interruptores e sensores ligados. As funções de diagnóstico permitem localizar, qual sensor ou interruptor de segurança foi ativado e por qual razão. Os inputs e outputs não seguros nos nós do Flexi Loop podem ser utilizados para avaliar situações do sistema monitorizado, tais como erros de contaminação, ou acionar dispositivos, como luzes ou ativar os dispositivos de travar as portas.

Um dos mecanismos de segurança do Flexi Loop é o *cut-off path*, o estado deste caminho é representado no programa por um único bit e permite o desligar seguro da *string* no Flexi Loop.

De modo a evitar erros e a facilitar a identificação dos dispositivos o sistema está dividido em segmento, secção e *string*, representado na Figura 26.

O segmento, representado na Figura 26 pelo ponto 1, é composto por todos os elementos existentes entre dois nós consecutivos, ou entre o controlador de segurança e o primeiro nó, tal como apresentado na Figura 26.

A secção, representada na Figura 26 pelo ponto 2, é constituída pelos dispositivos existentes entre fontes de alimentação no ramo, ou entre o controlador até à primeira fonte de alimentação.

Por fim, a *string*, representada na Figura 26 pelo ponto 3, é constituída por todos os dispositivos ligados na cascata de sensores de segurança, desde a ligação ao controlador até ao terminal de rede da cascata de sensores.

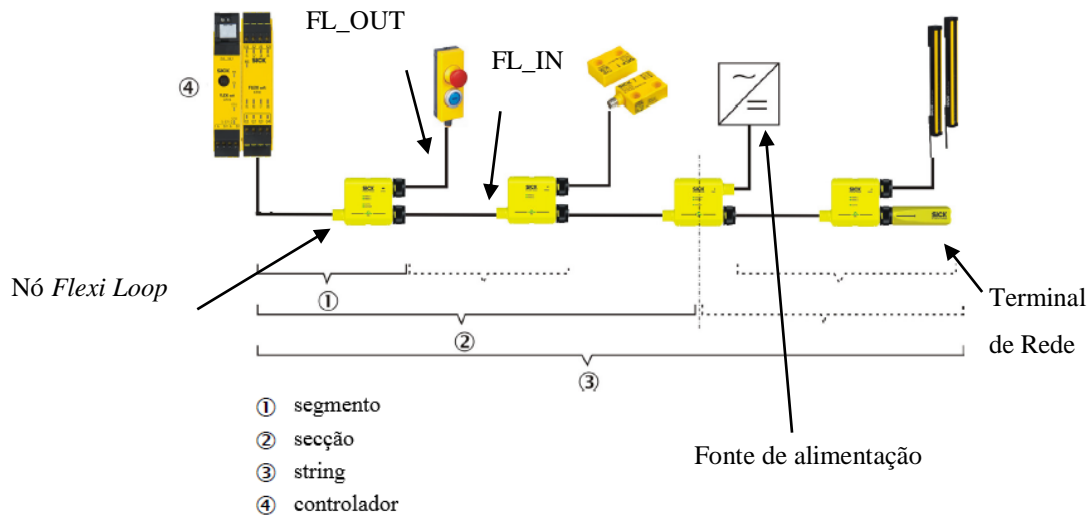


Figura 26 Cascata de sensores no Flexi Loop

A topologia da cascata de sensores de segurança do Flexi Loop é um barramento, a cascata de sensores tem sempre que terminar com o terminal de rede, tal como apresentado na Figura 26.

O Flexi Loop comunica utilizando duas linhas de dados e uma linha de segurança do *cut-off path*, bem como 2 linhas de alimentação.

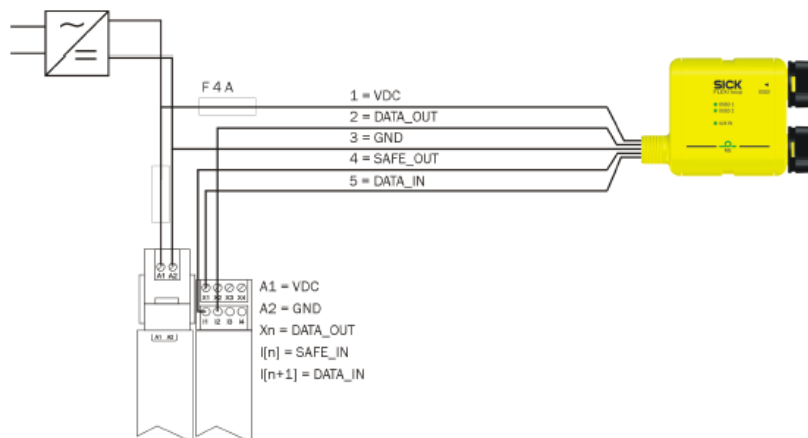


Figura 27 Ligação do Flexi Loop

Os módulos de I/O do Flexi Soft fornecem a informação para o controlador de segurança. A informação de segurança dos sensores e interruptores ligados é combinada e transmitida de modo seguro para o Flexi Soft. A informação de diagnóstico sobre o estado da cascata de sensores e dos nós do Flexi Loop também é enviada ao controlador.[22]

3.6. ARQUITETURA DO *HARDWARE*

Dependendo no espaço do quadro elétrico, pode-se implementar diferentes tipos de soluções de controlo que se enquadrem com o projeto ISCP. As soluções descritas são sugeridas pelo caderno de encargos e um dos requisitos obrigatórios, é que seja sempre implementado o PLC de segurança com a utilização de duas áreas de segurança simultâneas.

3.6.1. QUADRO ELÉTRICO INDEPENDENTE COM CONTACTORES CONVENCIONAIS

A solução apresentada na Figura 28 e é caracterizada por, serem instalados contactores que cortam o sinal entre as saídas do PLC da PV e as válvulas a serem atuadas, a comutação dos contactores é regulada pelo PLC de segurança. Dois contactores, atuados por saídas distintas do controlador de segurança, devem ser colocados em série para cortar os mesmos sinais, de modo a existir redundância no circuito de corte. Garantindo que o PLC de segurança consiga identificar situações anómalas através da discrepância de comutação.

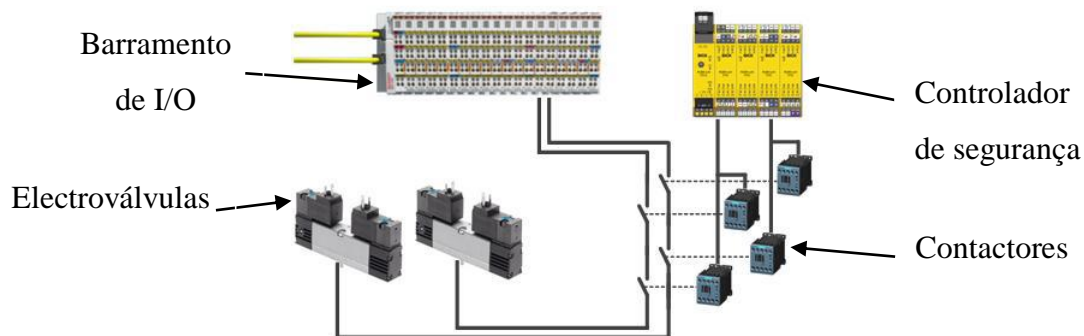


Figura 28 Quadro elétrico único com contactores

Esta solução tem a desvantagem de ocupar muito espaço no quadro elétrico, o que por vezes pode gerar a necessidade de se acrescentar um novo quadro para receber esta configuração.

3.6.2. SOLUÇÃO COMPACTA SEM CONTACTORES

Esta solução, apresentada na Figura 29, é definida por, serem instalados módulos de I/O de segurança entre as saídas do autómato da PV e as válvulas que serão atuadas. O sinal recebido pela carta de I/O de segurança tem que ser analisado pelo PLC de segurança e atuado na saída da mesma. Cada carta de I/O apenas tem 4 saídas que podem ser

controlados e como o número máximo de módulos são 10, logo apenas poderão ser controlados 40 sinais e dependendo do tipo de PV, isto pode ser uma limitação.

Os motores do transportador têm que ser controlados por contactores redundantes.

As principais vantagens desta solução são a redução do espaço necessário quando comparado com a solução anterior, fácil diagnóstico através das luzes LED (Light Emitting Diode) do PLC de segurança, e menos pontos de ligação e contactos mecânicos.

Esta solução tem a desvantagem de exigir um maior investimento monetário.

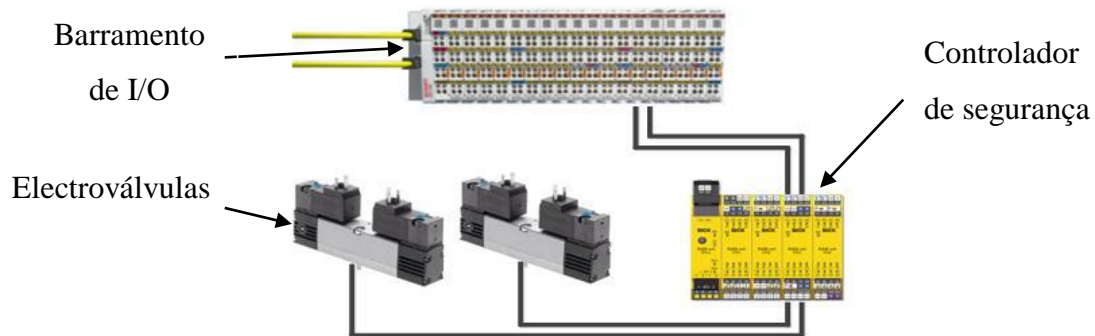


Figura 29 Solução sem contactores

3.6.3. SOLUÇÃO COMPACTA SEM CONTACTORES E COM TRANSMISSÃO DE DADOS

A solução apresentada na Figura 30, destaca-se por, serem instalados o autómato de segurança e módulos de I/O de segurança entre as saídas do autómato da Beckhoff e as válvulas que serão atuadas. Porém, esta solução é diferente da anterior pois os sinais a serem atuados são enviados por EthetCAT para o autómato de segurança, através do barramento BUS existente para a comunicação Beckhoff.

Tal como na solução anterior, o sinal recebido pelo módulo de segurança tem que ser analisado pelo PLC de segurança e atuado na saída do modulo e como cada módulo apenas tem 4 saídas, apenas 4 sinais podem ser controlados. As limitações quanto ao numero máximo de módulos são as mesmas, logo apenas poderão ser controlados 40 sinais. Os motores do transportador são controlados por contactores de segurança redundantes.

As principais vantagens deste modelo, são a redução do espaço necessário para a implementação das alterações, menor esforço na implementação das alterações e menor numero de pontos de ligação elétricos e mecânicos, pois são utilizados menos cabos e fios

elétricos. O diagnóstico é facilitado, pois é realizado diretamente nos LED do PLC de segurança.

As principais desvantagens desta solução residem no facto de apenas barramentos bus do tipo EtherCAT, Profinet ou Profibus serem utilizados. Alterações no programa principal do PLC são necessárias de modo a permitir a comunicação entre o autómato da PV e o autómato de segurança. Outra desvantagem reside no facto de se tornar necessário a utilização de ferramentas como o TwinCAT ou o Flexisoft.

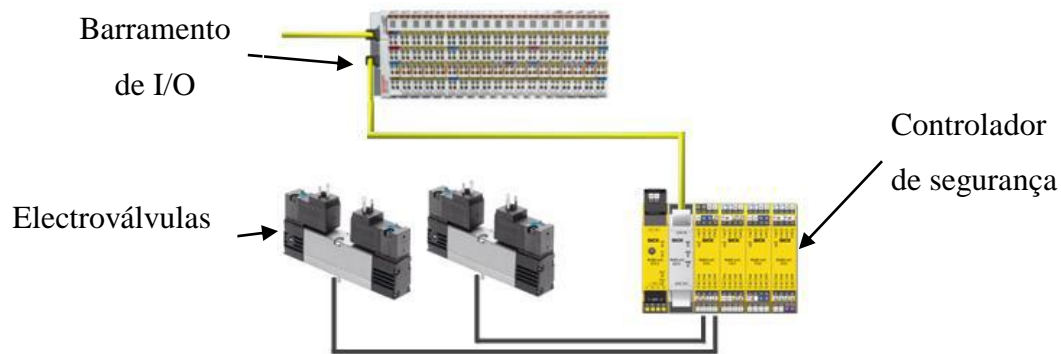


Figura 30 Solução sem contactores e com transmissão de dados

3.6.4. SOLUÇÃO COMPACTA COM CONTACTORES DESLIGANDO O CONTROLO DA ALIMENTAÇÃO DOS GRUPOS

Esta última solução, apresentada na Figura 31, utiliza o PLC de segurança para controlar a comutação dos contactores que regulam a alimentação dos grupos de segurança. As saídas no PLC têm que ser organizadas de acordo com a seguinte hierarquia:

- paragem de emergência e área amarela;
- paragem de emergência, área amarela e área vermelha;
- paragem de emergência, área amarela, área vermelha e segurança traseira.

O corte da alimentação é realizado por contactores redundantes atuados por saídas distintas do PLC de segurança, de modo a que este identifique possíveis anomalias na comutação dos contactores.

Esta solução tem como principais vantagens a utilização de menos espaço no quadro elétrico quando comparado com a solução apresentada no subcapítulo 3.6.1. Exige menor esforço para as alterações elétricas necessárias, e não limita quanto ao número de válvulas que podem ser atuadas.

Como principais desvantagens, representa um maior esforço para a engenharia pois exige o rearranjo das saídas do PLC de acordo com a hierarquia de segurança. Também pode impor alterações e criação de grupos de alimentação, de modo a ficar de acordo com os grupos hierárquicos. Em suma, esta solução exige maior esforço de mapeamento e endereçamento no PLC da PV.

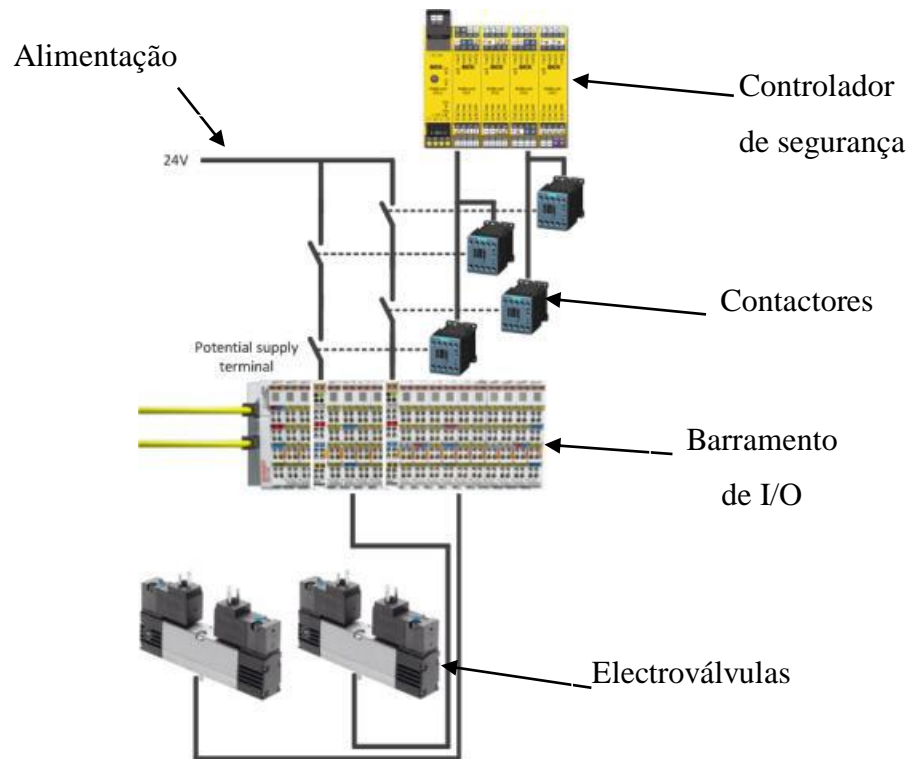


Figura 31 Solução com contactores cortando a alimentação dos grupos de segurança

4. ARQUITETURA DO SISTEMA

Neste capítulo será apresentada a solução que será implementada, de modo a preencher os requisitos exigidos pelo caderno de encargos. Assim, descreve-se numa primeira secção quais os módulos de segurança utilizados e como foram organizados. Numa segunda secção aborda-se como o software da PV foi estruturado e as alterações que devem ser realizadas.

A realização deste projeto pressupõe a realização de alterações ao nível do *hardware* e ao nível do *software* da PV, bem como a adição de novas funcionalidades e redundâncias, de modo a que o operador fique em segurança durante a operação da PV.

4.1. HARDWARE

O caderno de encargos apresenta diferentes soluções que podem ser implementadas. Estas foram descritas no capítulo 3 e têm como objetivo atingir as melhorias de segurança exigidas nas diferentes zonas de risco da PV.

4.1.1. ZONA DE SEGURANÇA FRONTAL

A zona da PV que possui maior atividade é a zona da frente, esta recebe dispositivos de segurança especiais. Estes dispositivos têm como objetivo permitir o acesso à PV, restringindo apenas os movimentos perigosos que afetem a zona de segurança frontal.

O dispositivo responsável pela monitorização do acesso à zona de perigo frontal é o scanner de segurança S3000. Este tem que ser colocado de modo a que toda a área frontal da PV seja monitorizada, representada na Figura 32 pela área delimitada a amarelo e a vermelho. Nesta área existem alguns obstáculos, nomeadamente um pilar estrutural que não pode ser retirado nem deslocado, bem como a altura a que o scanner fica do chão, uma vez que, os degraus e a base do GTS ficam aproximadamente à mesma altura, existindo apenas uma pequena janela espacial para colocar o S3000.

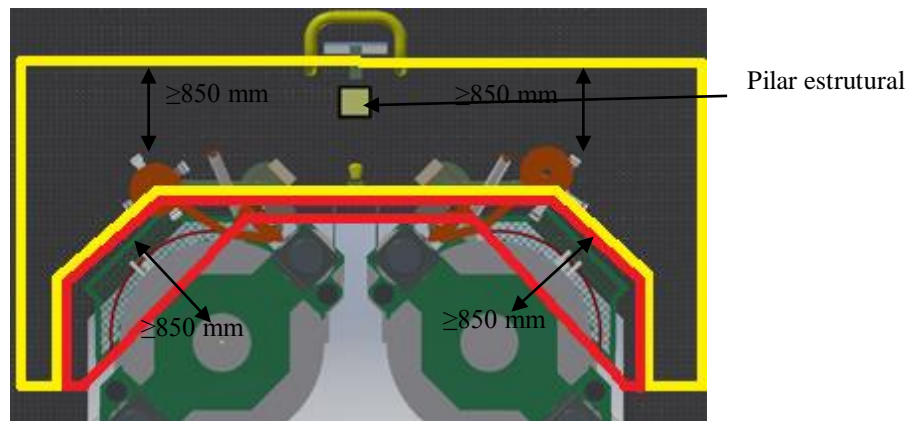


Figura 32 Zona de segurança frontal (vista superior da prensa de vulcanização)

A localização do scanner deve ser tal, que garanta sempre a maior área possível a ser monitorizada, com especial atenção para a área vermelha, pois é onde existem a maioria dos movimentos perigosos. Assim, optou-se por estudar quatro localizações possíveis para o scanner de segurança:

- 1) Localizado à esquerda ou à direita, como aplicado a outras PVs;
- 2) Localizado entre o pilar e a PV, mas voltado para a PV;
- 3) Localizado entre o pilar e a PV, mas orientado para o sentido oposto da PV;
- 4) Localizado atrás do pilar, direcionado para a PV;

Esta análise foi realizada de modo empírico com recurso a uma ferramenta de desenho *Computer Aided Design* (CAD). A PV foi modelada em 3D para a realização desta análise

e para teste da disposição das barreiras de segurança. Estes testes representam aproximações à área em que o scanner consegue analisar.

Por conseguinte, colocou-se o scanner de segurança nas localizações nomeadas anteriormente, obtendo-se o resultado apresentado na Figura 33.

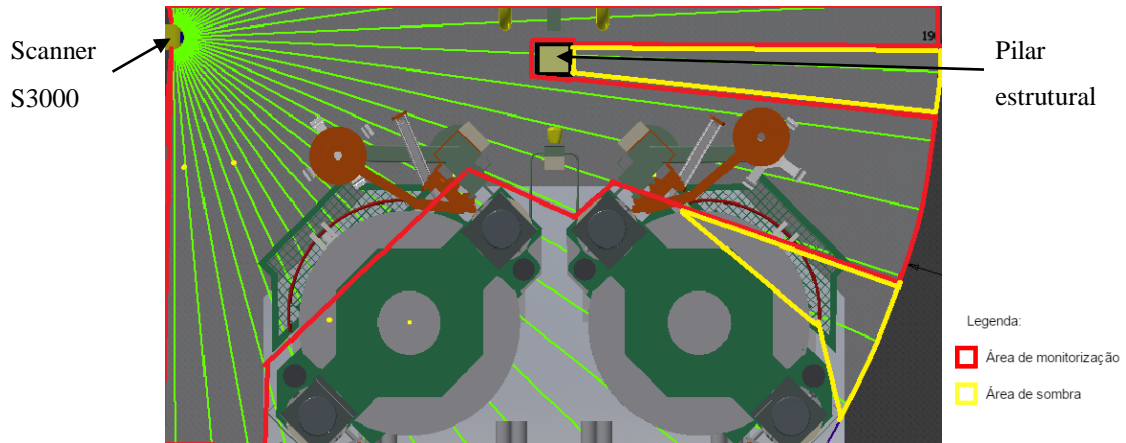


Figura 33 Área de monitorização do scanner S3000, com este na 1) posição

Este primeiro teste permitiu verificar que dispor o scanner de segurança à esquerda ou à direita da PV não representa uma boa solução. Pois, surgem duas zonas de sombra (delimitadas a amarelo na Figura 33), na área de segurança vermelha e amarela. Estas zonas de sombra, são áreas que o scanner não consegue analisar, porque existem obstáculos à frente.

Um outro problema desta localização deve-se ao facto do scanner ficar numa zona de passagem do empilhador no momento da mudança de molde, logo inviabiliza esta solução.

Seguidamente, deslocou-se o scanner para a segunda localização proposta, obtendo o resultado apresentado na Figura 34. Esta solução já apresenta melhores resultados quando comparada com a anterior, pois as zonas de sombra são menores, podendo ser praticamente anuladas com recurso a grades fixas.

O scanner já não obstruí a passagem aos operadores, nem às máquinas, ainda acresce a vantagem do scanner ficar protegido pelo pilar. Porém, o scanner nesta disposição deixa uma grande área por monitorizar, área limitada a azul na Figura 34, inviabilizando esta solução, pois não corresponde aos requisitos do caderno de encargos, no que respeita ao tamanho da área de monitorização amarela.

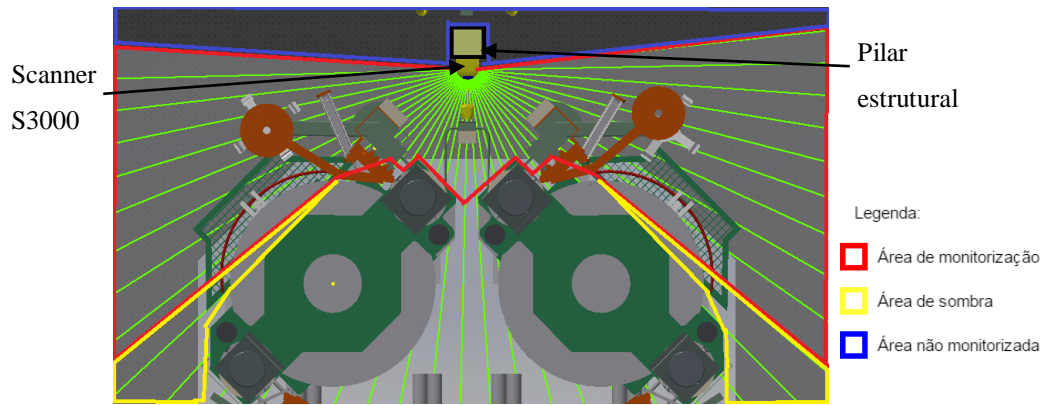


Figura 34 Área de monitorização do scanner S3000, com este na 2) posição

Na abordagem seguinte optou-se por colocar o scanner para a terceira localização proposta, colocar entre o pilar e a PV voltado para o pilar, como representado na Figura 35. Esta abordagem visa obter uma área de monitorização que colmate um dos problemas encontrados na solução anterior, a área não monitorizada, usufruindo das mesmas vantagens da segunda solução apresentada. Porém, ao ser eliminada a zona não monitorizada da Figura 34, surge uma área maior e mais importante que não é monitorizada. Uma vez que, a área não monitorizada, delimitada a azul, é a mais próxima da zona de maior risco da PV, assume um papel mais relevante.

Assim, esta solução também foi deixada de parte pois não preenche todos os requisitos necessários para ir de encontro aos objetivos propostos no caderno de encargos.

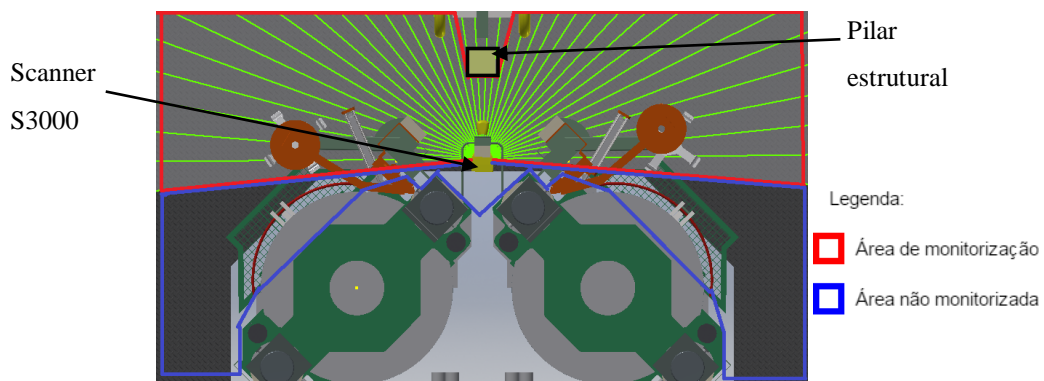


Figura 35 Área de monitorização do scanner S3000, com este na 3) posição

Por fim, a última solução apresentada para resolver este problema, é colocar o scanner atrás do pilar, mas voltado para a PV, como apresentado na Figura 36. Esta solução é a que melhor preenche os requisitos do caderno de encargos, no que respeita à área que o scanner deve monitorizar, pois esta solução é a que possui maior área de monitorização em torno

da PV, acrescentando ainda as vantagens da segunda e terceira solução no que respeita ao scanner apresentar-se como um obstáculo para o operador ou empilhador.

Contudo, a solução apresentada na Figura 36 possui uma grande área de sombra no centro da área de segurança. De modo a ser resolvido este novo problema, optou-se por criar um obstáculo que apenas permita ao operador de aceder à zona de sombra com as mãos e tronco, garantindo que as suas pernas são detetadas pelo scanner. Este novo objeto é uma grade de proteção metálica com formato em “T”, com duas grades menores soldadas lateralmente. Esta configuração permite que o operador fique sempre dentro da área de segurança e possa realizar a manutenção naquela zona da PV.

Contudo, ainda existe um problema que necessita de otimização, isto é, a lateral da zona frontal possui uma área amarela e vermelha muito grandes, o que pode originar paragens na PV quando o operador acede à zona traseira. Assim, a solução para encurtar a área frontal de monitorização, tanto amarela como vermelha, passa pela colocação de portas frontais, apresentadas na Figura 37. Estas portas podem ser abertas caso o operador necessite de espaço para aceder à cavidade frontal da PV, e o controlador deve detetar a sua abertura, como se uma invasão da área vermelha se tratasse, pois pretende evitar o acesso aos movimentos perigosos associados à cavidade.

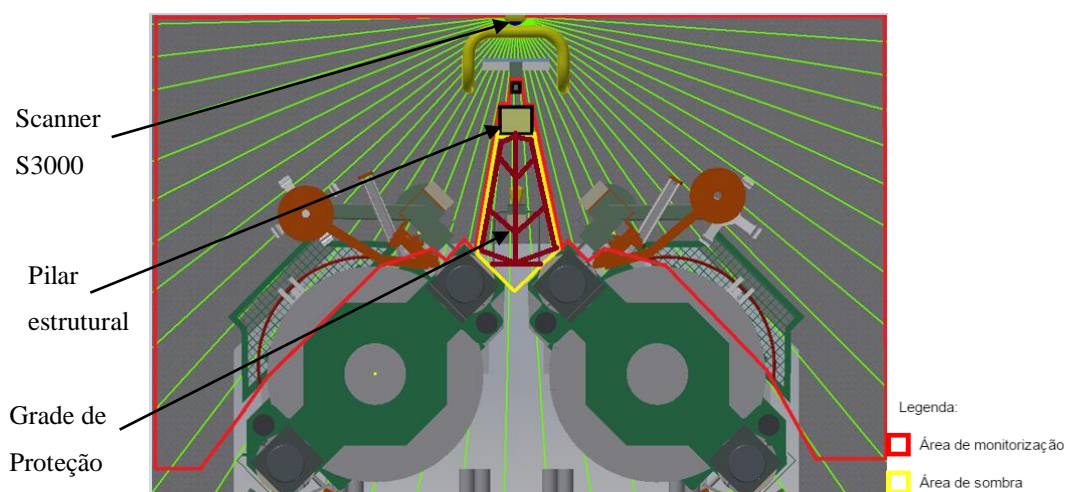


Figura 36 Área de monitorização do scanner S3000, com este na 4) posição

Assim, com esta solução é possível monitorizar toda a zona frontal da PV utilizando o scanner de segurança S3000, tal como, requisitado no caderno de encargos.

4.1.2. ZONA DE SEGURANÇA TRASEIRA

A segurança da zona traseira representou um desafio, devido ao facto de o espaço entre PVs consecutivas ser limitado e o ambiente em que se irá inserir os dispositivos ser quente, sujeito a fumos e colisões.

Uma das possíveis soluções passaria pela implementação das barreiras óticas descritas anteriormente, visto ocuparem pouco espaço e serem facilmente implementáveis. Porém, este dispositivo tem como desvantagem o preço e a sua exigência na manutenção, uma vez que seria necessário limpar as zonas de emissão e recessão dos sinais luminosos.

A opção escolhida recaí assim para as barreiras fixas com portas frontais e traseiras, de modo a garantir a segurança e o acesso fácil à zona traseira da PV, tal como se pode visualizar na Figura 37.

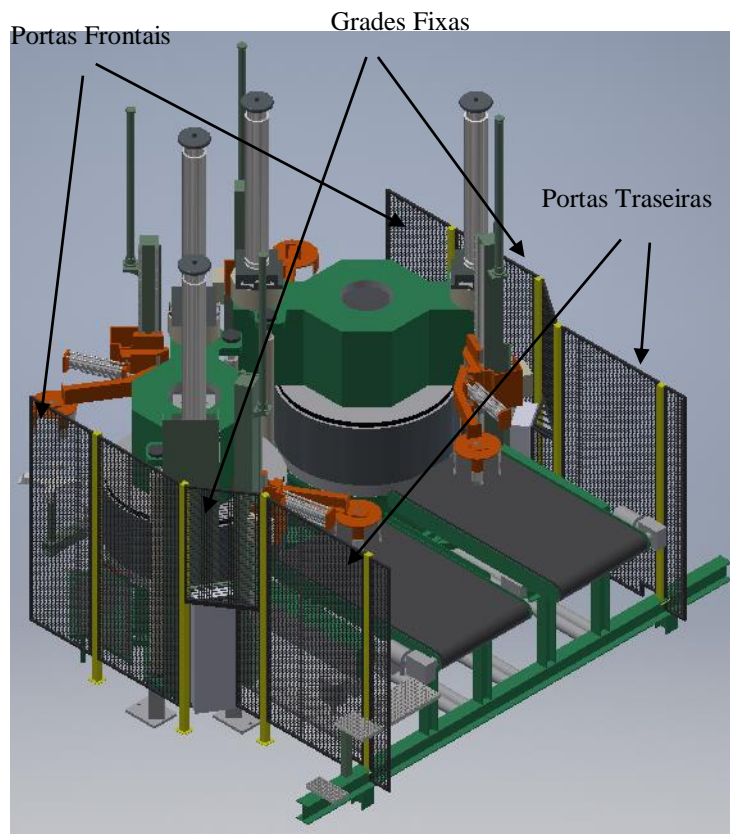


Figura 37 Representação 3d da prensa de vulcanização com grades de segurança

Com a utilização de grades fixas surge a necessidade de se utilizar um dos dispositivos de segurança para barreiras fixas, discutidos anteriormente.

Numa primeira abordagem ao problema a utilização dos dispositivos de segurança I14 ou I17 seria uma boa solução, pois o I17 consegue bloquear a abertura e fecho da porta de acordo com a ordem do controlador ou o I14 que informa o controlador sempre que a porta seja aberta ou fechada. Contudo, tal como referido anteriormente as portas estão sujeitas a colisões e forças bruscas, o que poderia levar ao rápido desgaste e consequentes paragens da PV, para além da desvantagem do preço quando comparado com o TR4.

O TR4 é das soluções indicadas no caderno de encargos e a que melhor se enquadra nas exigências do problema, tendo em conta as características do meio ambiente e a facilidade de implementação e manutenção. Uma vez que, é facilmente aplicado na barreira de segurança e em termos de software é facilmente adicionado ao programa.

De todas as soluções o TR4 é a mais económica e modular, pois é um simples dispositivo RFID com um pequeno alcance, sendo menos propício a avarias. A vantagem de a fechadura ser independente do dispositivo de informação do estado da porta da barreira de segurança reside no facto de ser mais económica e facilmente substituída, sem necessidade intervenção no sistema elétrico e consequente paragem da PV.

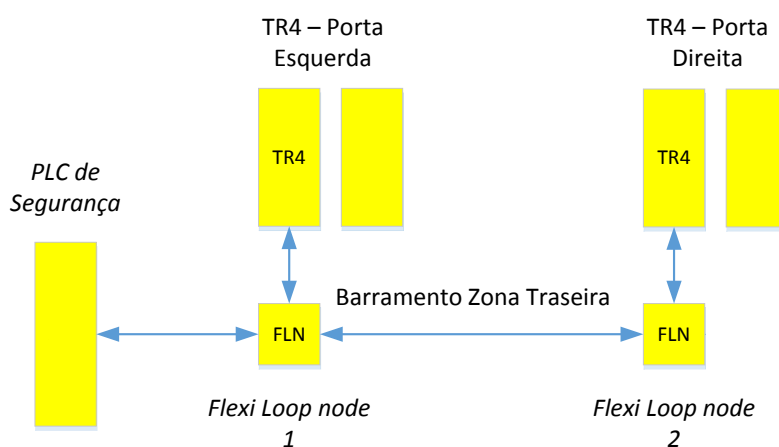


Figura 38 Barramento *Flexi Loop* para as portas traseiras.

Assim, serão necessários dois TR4 para a porta traseira e a sua implementação passará pela utilização da tecnologia Flexi Loop do sistema Flexi Soft, como apresentado na Figura 38. Isto facilita a implementação dos TR4 ao nível mecânico, uma vez que, apenas são instalados os Flexi Loop *nodes*, os TR4 e os botões.

Um dos requisitos de segurança é a existência de um botão para o rearme da PV, depois da porta estar fechada. Isto, visa garantir que a PV não entra acidentalmente em operação no

momento que a porta seja fechada, pois este acontecimento pode ser involuntário. Por conseguinte, estes botões serão introduzidos nos nós do barramento Flexi Loop, da zona traseira.

Em suma, com a aplicação deste layout e do ponto de vista do *hardware*, o acesso à zona de segurança traseira da PV é controlado.

4.1.3. ZONA DE SEGURANÇA INFERIOR

À semelhança com a zona de segurança traseira descrita na subsecção 4.1.3, à zona de segurança inferior também será restringido o acesso com recurso a uma barreira de segurança mecânica, sendo permitido apenas o acesso através de duas portas. Estas serão monitorizadas por dois TR4 colocados nas portas, contudo nesta situação apenas será utilizado um botão de rearme da PV. Esta situação deve-se à configuração especial da zona inferior da PV, pois permite uma boa visualização sobre a zona de perigo e o acesso facilitado ao botão de *reset*.

Estes dispositivos serão dispostos num barramento Flexi Loop, dedicado exclusivamente à zona de segurança inferior.

4.1.4. CONTROLO

A solução escolhida para o controlo difere um pouco das soluções apresentadas anteriormente, pois implementa o corte dos sinais mecânicos e a comunicação entre o PLC da PV e o PLC de segurança, tal como ilustrado na Figura 39.

A configuração que utiliza um quadro independente com contactores foi a escolhida, pois é efetuado um corte físico dos sinais entre as saídas do PLC da PV e as válvulas que serão atuadas. Note-se que, é utilizado um sinal de controlo por cada dois contactores em série, pois assim é garantido o corte mesmo caso de falha de um dos contactores. Uma outra vantagem desta montagem é a facilidade com que um projeto standard pode ser implementado em varias PVs, sem necessidade de grandes rearranjos elétricos.

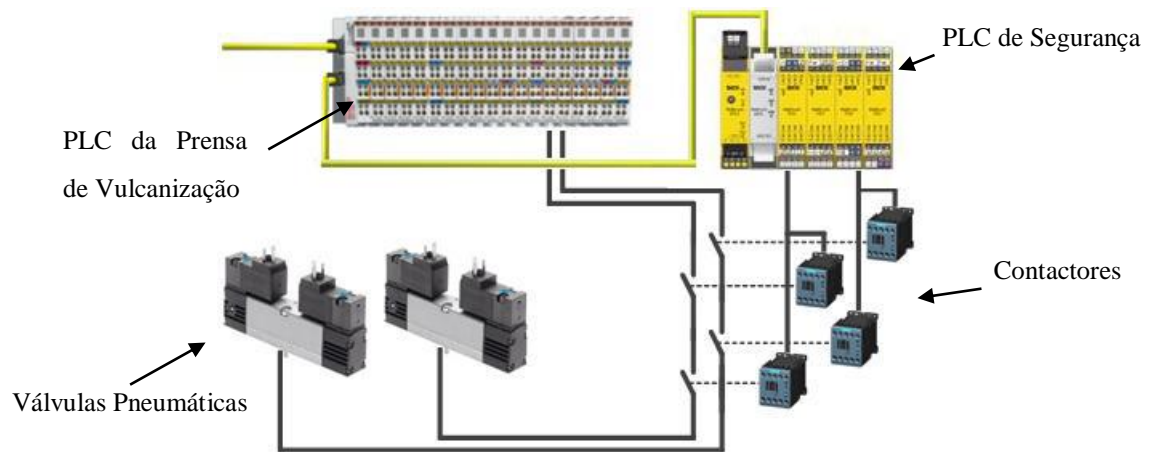


Figura 39 Quadro independente com contactores e barramento de dados

A comunicação entre o controlador de segurança e o controlador da PV foi implementada, para que, exista troca de informação entre ambos os sistemas, facilitando assim, a adição das funcionalidades descritas no caderno de encargos, tais como, o envio das permissões do operador para o controlador de segurança, o envio do estado da segurança para o controlador da PV, para emissão de erros e alertas, e o envio do estado da sinalização para o controlador da PV, para ser efetuada a sua atuação.

4.2. SOFTWARE

Ao nível do *software* este projeto impõe a realização de algumas alterações e adição de novas funcionalidades ao PLC da PV, de modo a que este se enquadre nos objetivos do caderno de encargos. Do mesmo modo, é necessário desenvolver um software que realize o controlo do sistema de segurança no PLC de segurança, mas que fique conectado por EtherCAT ao PLC da PV.

O PLC de segurança será responsável por controlar todos os dispositivos de segurança, analisar as condições para silenciar a segurança, a sinalização e o envio do estado em que os dispositivos de segurança se encontram, ou seja, a lógica de segurança.

4.2.1. PLC DA PRENSA DE VULCANIZAÇÃO

O software existente na PV foi programado maioritariamente com recurso à linguagem de programação FBD/CFC, ST e IL.

Na Figura 40 é apresentada a arquitetura do *software* da PV. Este está estruturado em pastas, com cada pasta associada a uma das funções da PV. Em cada uma destas pastas existe uma função geral que é responsável por gerir os principais eventos associados à mesma, para que no programa *Main* seja então feita a chamada sequencial das funções gerais de cada pasta.

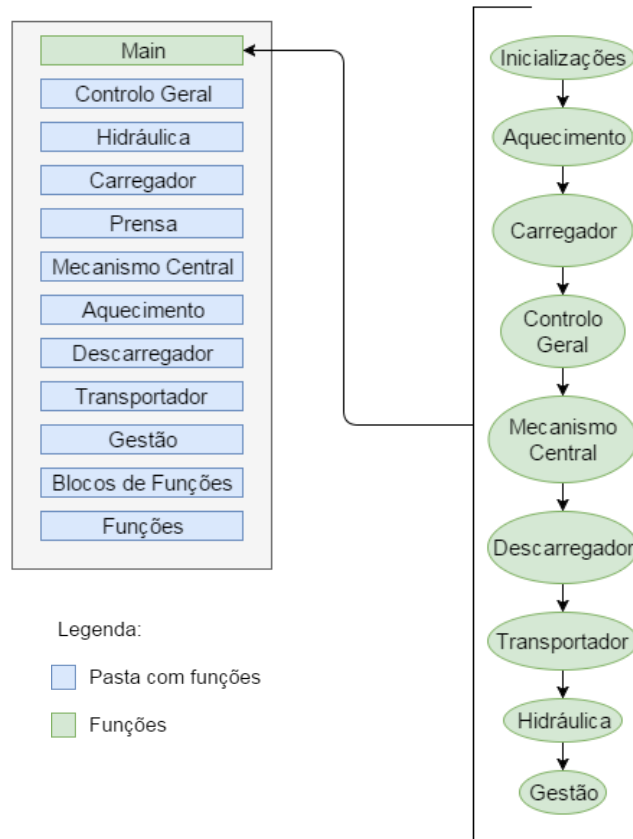


Figura 40 Arquitetura geral de software da prensa de vulcanização

Assim, as funções que serão alteradas são aquelas que influenciam diretamente os movimentos perigosos da PV, isto é, “Carregador”, “Descarregador”, “Prensa” e “Mecanismo Central”.

As funções associadas ao movimento do carregador são cinco, apresentadas na 0, a função “Geral” que implementa sequencialmente as restantes funções com as respetivas condições associadas. As quatro restantes funções desta pasta têm por objetivo efetuar ações específicas relacionadas com o acionamento, controlo ou alerta do sistema em caso de falha.

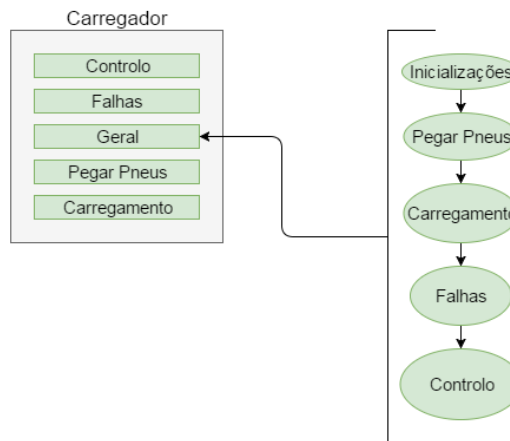


Figura 41 Arquitetura de software – Carregador

A função “Geral” do carregador inicia a sua execução com a realização das inicializações, isto é, testa condições para verificar se existe pneu no GTS, qual a posição do carregador e testa condições para verificar se o pneu ver já está na garra do carregador.

Seguidamente, a função de “Pegar Pneu” é executada caso não exista “pneu verde” no carregador. Na função “Pegar Pneu” é verificado se a PV já está fechada e a vulcanizar, o carregador desce, as pás do carregador expandem, e o carregador sobe para a posição que o permite entrar na PV.

De seguida, é iniciada a função de “Carregamento”, esta irá colocar o pneu no centro da PV. Inicialmente, nesta função é testado se a PV se encontra preparada para receber o “pneu verde”, para depois rodar o braço para o interior da PV, descer o carregador e fechar as pás. Por fim, o carregador é retirado subindo e rodando o braço para o exterior. Alternativamente, caso alguma das etapas anteriores falhar é emitido um alarme.

As funções “Falhas” e “Controlo” possuem o mesmo princípio de funcionamento, independentemente da função em que são chamadas.

A função “Falhas” apenas testa condições que são validas em caso de erro nas funções do carregador, para numa fase final os erros serem enviados ao utilizador.

Por último, é executada a função de “Controlo” apenas recebe o resultado das funções anteriores e acrescenta condições para que as variáveis de saída correspondentes sejam atuadas.

O descarregador apenas possui quatro funções, a função “Geral” que testa as condições iniciais e executa sequencialmente a função de “Descarregamento”, a função “Falhas” e por fim a função de “Controlo”, como apresentado na Figura 42.

A função de descarregamento, testa se a PV está preparada para que o “pneu cozido” seja retirado. Enviando as seguintes ordens ao descarregador: subir para a posição de entrada na PV, entrar na PV, descer, expandir as pás, subir para a posição de saída, sair, descer, recolher as pás e subir.

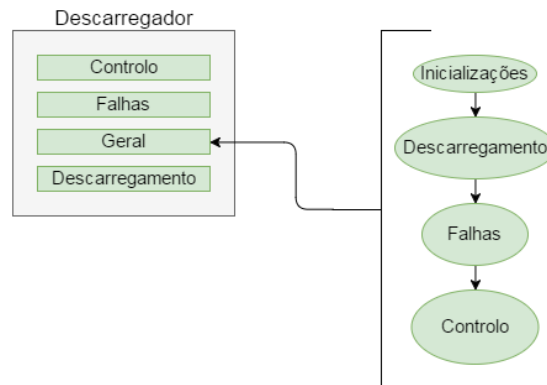


Figura 42 Arquitetura de software – Descarregador

A arquitetura do software de controlo do mecanismo central, apresentado na Figura 43, possui a função “Leitura de Entradas Analógicas” responsáveis pela leitura e conversão dos valores analógicos da posição e verificações de posicionamento. A função “Subida em Modo Manual”, “Descida em Modo Automático” e “Descida em Modo Manual” apenas organizam a sequencia de movimentos e que condições devem ser preenchidas para que as partes independentes do mecanismo central, no momento em que o mecanismo central está a ser colocado a vulcanizar ou a ser recolhido no final do ciclo de vulcanização. A função “Medir Velocidade” apenas realiza o calculo da velocidade atual do poste central do mecanismo central.

Por fim, a função “Geral” apenas organiza a sequênci e condiciona o momento em as funções do mecanismo central são executadas.

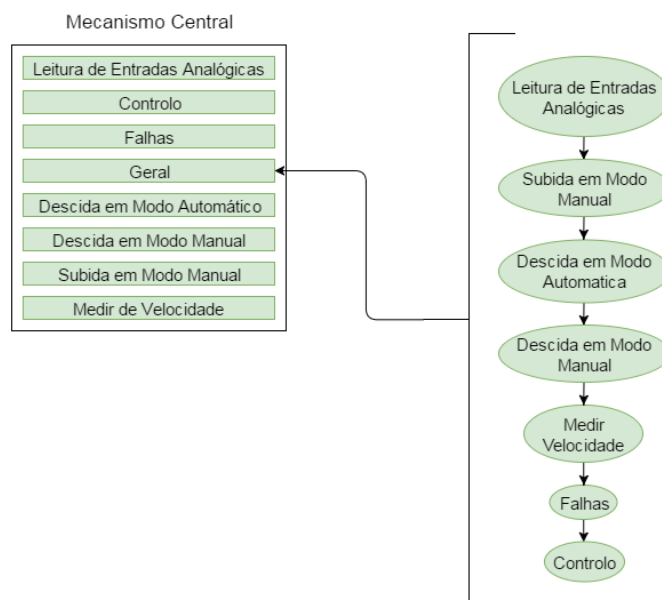


Figura 43 Arquitetura de software – Mecanismo Central

As funções existentes na pasta “Prensa”, representada na Figura 44, têm por objetivo garantir o correto funcionamento da extremidade superior e dos travões de bloqueio associados a esta.

A função “Leitura das Entradas Analógicas” tem como objetivo ler os valores das entradas analógicas relacionadas com a PV e calcular a posição da cavidade superior e a pressão e verificar em que posição esta se encontra.

As funções “Fechar” e “Abrir” apenas gerem a sequência do ciclo de abertura e fecho da cavidade. A função “Medir Velocidade” apenas calcula a velocidade atual e a velocidade máxima a que a cavidade superior pode -se deslocar. As funções de “Controlo Hidráulico” e “Controlo Pneumático” tem como objetivo controlar diretamente as saídas que atuam os cilindros hidráulicos e cilindros pneumáticos relacionados com o movimento e bloqueio da cavidade. A função “Controlo de Saídas Analógicas” tem como exercício realizar a conversão dos valores de velocidades para a saída analógica.

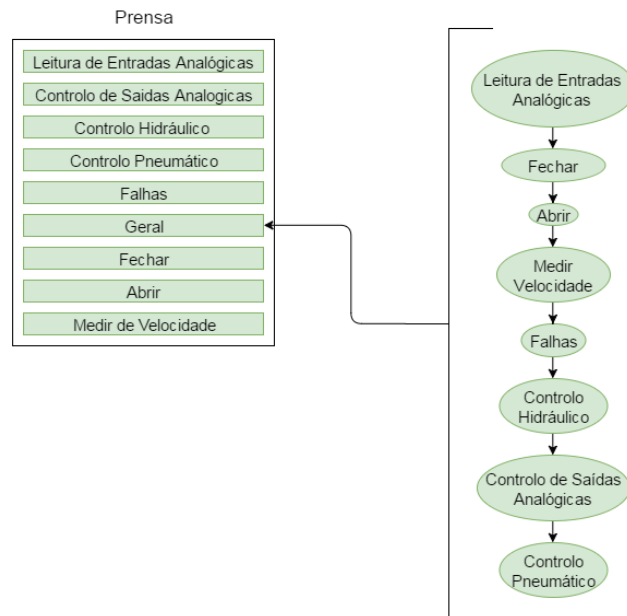


Figura 44 Arquitetura de software – Prensa

4.2.2. PLC DE SEGURANÇA

O PLC de segurança será responsável por controlar todo o sistema de segurança, isto é, terá que identificar todas as transgressões nas zonas de perigo e enviar essa informação ao PLC da PV, para além de, atuar os contactores que cortam os sinais que vêm do PLC da PV.

Uma outra funcionalidade importante que o PLC de segurança deve executar é a entrada em modo termopar e a entrada em modo de manutenção, pois estes modos podem colocar a segurança parcialmente silenciada. A função *muting*, de silenciamento das áreas de segurança quando a PV está fechada, é realizada também no PLC de segurança.

O controlo do *driver*, responsável pela velocidade e pressão com que a cavidade é fechada, é realizado pelo PLC da PV, porém o seu *enable* é realizado pelo PLC de segurança.

Por fim, o controlo da sinalização quando existe transgressões na segurança da PV também é realizado no PLC de segurança.

Todas as funções referidas anteriormente necessitam de informação existente no PLC da PV, este também precisa das informações existentes no PLC de segurança, para evitar falhas na PV, acrescentar falhas de segurança e para a verificação das permissões e estados no PLC de segurança, logo é necessário que exista a troca de dados entre ambos os PLC's.

A comunicação EtherCAT, apresentada na Figura 45, tem que ser configurada em ambos os PLC's, tanto os *Input Data Set* como os *Output Data Set*.

Ao nível do PLC de segurança, esta é configurada preenchendo os *bytes* dos *Data Set* de entrada e saída, com o valor das variáveis em cada *bit*. Ao nível do PLC da PV o processo realizado é idêntico, porém o *Input Data Set* do lado do PLC de segurança passa a ser o *Output Data Set* do lado do PLC da PV e vice-versa.

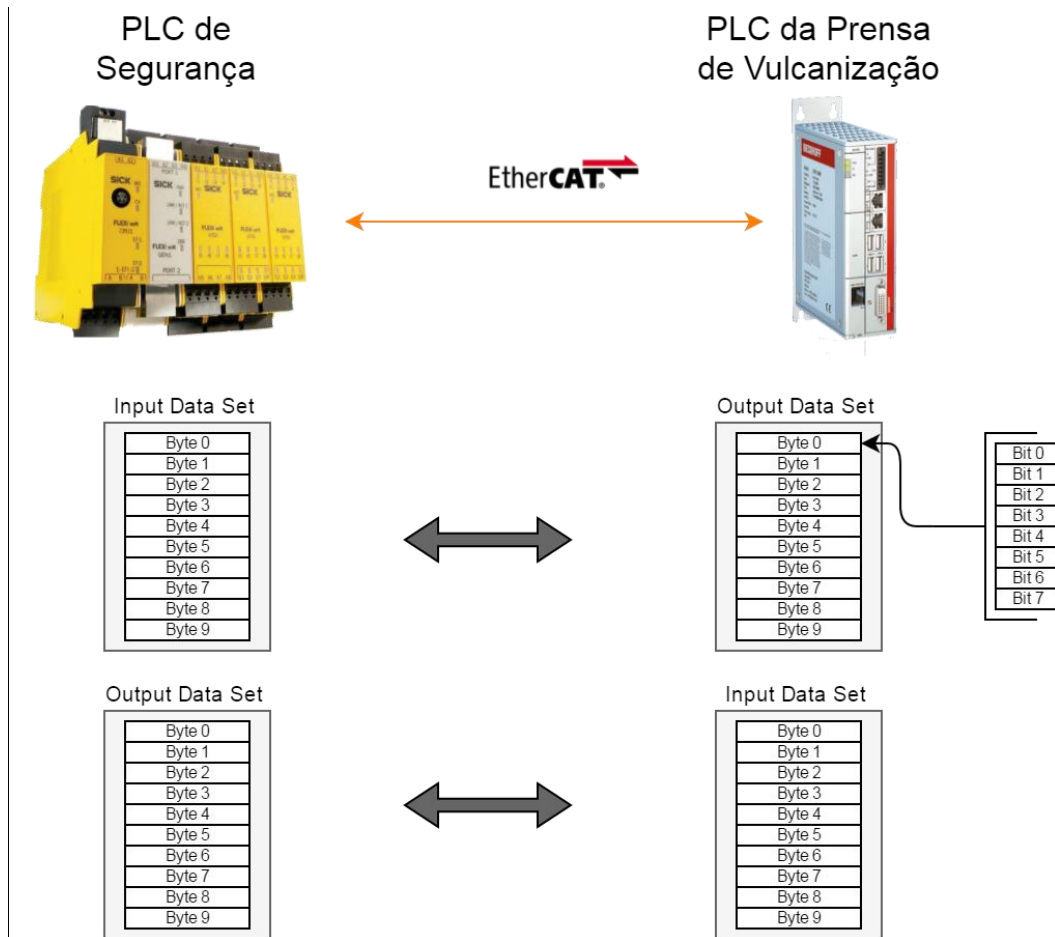


Figura 45 Comunicação entre os PLC's

5. IMPLEMENTAÇÃO

Ao longo deste capítulo serão apresentadas as alterações realizadas na PV. Na primeira fase serão abordadas as alterações realizadas, quer ao nível do layout, quer ao nível elétrico. Na segunda fase serão apresentadas as alterações realizadas no PLC da PV e o software desenvolvido para o PLC de segurança.

5.1. HARDWARE

O *hardware* do sistema implementado divide-se em duas partes, uma primeira parte constituída pelo layout e dispositivos utilizados e uma segunda parte dedicada as alterações elétricas que foram necessárias realizar.

5.1.1. LAYOUT

A solução apresentada na Figura 46, foi a implementada na PV. O scanner de segurança foi colocado atrás do pilar, mas voltado para a PV, tal como apresentado anteriormente na Figura 36. Contudo, as áreas de monitorização em redor da PV eram grandes, o que iria originar a sucessivas paragens sempre que o operador se deslocasse à zona traseira da PV. Assim, implementou-se duas portas na zona frontal, de modo a reduzir a área de segurança vermelha. As restantes configurações do scanner foram no sentido deste detetar objetos

com um mínimo de 70 mm, num raio máximo de 4.70 m, assumir o CPU1 como master na comunicação EFI e utilizar dois *protective fields*⁸, uma vez que ambas as áreas se destinam a proteger pessoas.

O dispositivo de segurança para realizar o controlo das portas tanto na zona frontal da PV, como na zona traseira e inferior é o TR4, estes foram implementados nas grades, como representado da Figura 46. Além disso foram adicionados três botões de reset, um de cada lado da zona traseira e um na zona inferior para a operação de *reset*, e dois botões de *bypass* um dentro da zona traseira e um na zona inferior para a operação de “*bypass*”⁹. Assim, foram criadas três cascatas de sensores, o *flexi loop* da zona traseira, com os dois TR4 e os dois botões de *reset*, o *flexi loop* da zona inferior com o TR4 e o botão de *reset*, e por último, um *flexi loop* com os dois botões do *bypass*. Os TR4’s da zona frontal foram ligados diretamente ao PLC de segurança, pois como não recebem botão de *reset* e ainda existem *Inputs* disponíveis, não se justificava o gasto em material para criar um novo *flexi loop*.

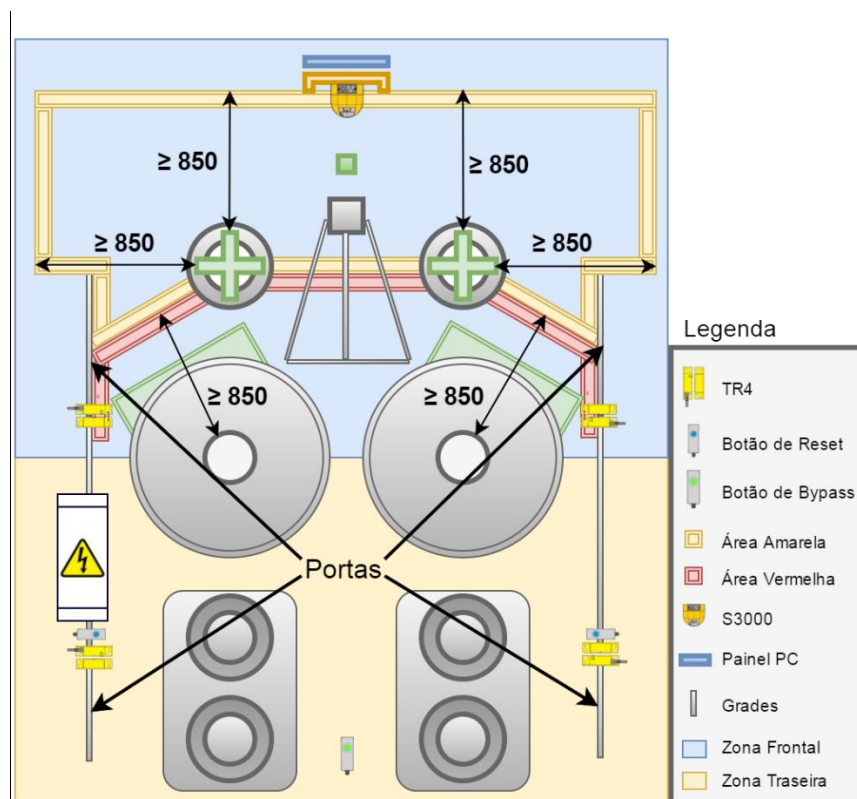


Figura 46 Layout final dos dispositivos de segurança aplicados

⁸ Área desenhada apresentada no Anexo A

⁹ A operação de *bypass*, corresponde ao silenciamento da segurança quando a PV é colocada em modo manutenção

5.1.2. ALTERAÇÕES ELÉTRICAS

As modificações realizadas, quer pela introdução de dispositivos de segurança, quer pelas alterações no PLC da PV, requerem mudanças no quadro elétrico da PV e a criação do quadro elétrico de segurança, para que possam suportar todo o sistema desenvolvido.

Na Figura 47 está representado o quadro elétrico de segurança, neste está alojado o PLC de segurança, com quatro cartas de I/O e uma de interface EtherCAT, os contactores, o disjuntor eletrónico e os *bornes*, para servirem de interface físico entre o interior e exterior do quadro elétrico.

A alimentação do quadro principal da PV, deriva para o quadro de segurança. Neste está instalado o disjuntor eletrónico que alimenta os dispositivos do sistema de segurança.

O barramento EtherCAT da PV é estendido para receber este novo sistema, através da adição um novo *slave* ao barramento, o EtherCAT *gateway* do sistema de segurança.

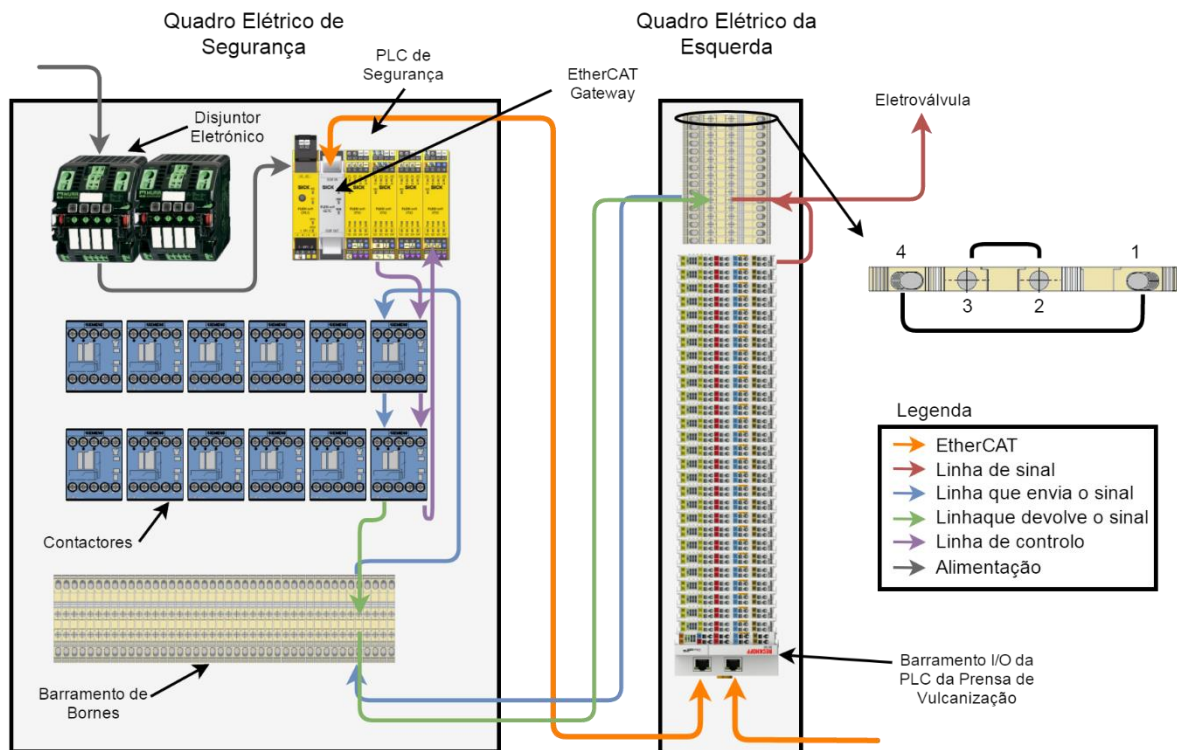


Figura 47 Configuração do Hardware

Nas saídas das cartas I/O do PLC de segurança, são ligados os contactos NC, dos contactores, e a saída deste ligada a uma entrada das cartas, pela linha de controlo. Deste

modo, o controlador consegue atuar os contactores e efetuar a monitorização destes com a função EDM.

Uma outra alteração implementada, foi a interligação entre o sistema de segurança e o barramento de I/O da PV. Esta alteração foi realizada com recurso a bornes, de modo a ficar *standard* e simples.

Nos sinais, associados aos movimentos perigosos, foram substituídos os bornes simples, existentes, por bornes duplos, pois o espaço presente nos quadros é pequeno. Assim, no ponto 1 do borne é ligado o sinal de comando que saí das cartas de I/O do autómato da PV, no ponto 4, é ligada a linha que leva o sinal ao quadro elétrico de segurança, para ser cortado pelos contactores, no ponto 3, é ligada a linha que devolve o sinal processado pelo sistema de segurança, para no final ser ligada a linha que leva o sinal até á electroválvula. Esta configuração é aplicada do mesmo modo no quadro elétrico de segurança.

Os contactores estão organizados pelas zonas de corte, isto é, o PLC de segurança controla três grupos de contactores:

O grupo da área amarela, que interrompe os movimentos de entrada e saída da PV e o movimento de descida;

O grupo da área vermelha, que pára os movimentos do descarregador, e do mecanismo central e o sinal de controlo do *driver* da PV;

O grupo da área traseira, que suspende os movimentos dos transportadores;

No quadro elétrico da PV foram acrescentadas cartas de saída, para ser instalada a sinalização sonora e para enviar o sinal redundante ao PLC de segurança, indicando que a cavidade está fechada. Para além disso, foi derivado para o PLC de segurança, o sinal do sensor de PV fechada, e acrescentado cartas de entrada para controlo da temperatura e do ar condicionado no quadro principal.

5.2. SOFTWARE

O *software* desenvolvido está subdividido em duas partes, numa primeira parte é apresentado o *software* que foi desenvolvido de raiz para o PLC de segurança e numa segunda parte é apresentado o software adaptado para o PLC da PV.

5.2.1. PLC DE SEGURANÇA

No PLC de segurança foram criadas funções que permitam responder aos requisitos do caderno de encargos, como:

Seleção das permissões para licenciamento da segurança, modo de termopar ou serviços;

Silenciamento da área vermelha quando a PV esta fechada;

Controlo da sinalização;

Controlo das áreas de segurança

Controlo das portas;

Controlo do *enable* do driver da extremidade superior;

Gestão dos dados enviados e recebidos por *EtherCAT*;

Controlo de acesso indevido à zona traseira;

Controlo da comunicação;

A função que permite verificar se o operador possui permissões para silenciar a segurança da PV, é a função *Modos*. Para tal, este deve estar munido de uma chave especial para o efeito e a sua *Identity* (ID) de utilizador possui privilégios de nível termopar ou serviços. Assim, ao introduzir o seu ID, número de utilizador e password, o software da PV verifica se este é do nível termopar ou serviços, para de seguida enviar essa informação ao PLC de segurança.

O autómato de segurança na função *Modos*, fluxograma da Figura 48, analisa se as condições para silenciar a segurança, estão reunidas, e se as permissões, do modo termopar ou serviços existem. Para tal, verifica se o operador que opera a PV no momento tem permissões dos níveis referidos anteriormente e se rodou a chave. No caso de não possuir permissões nem rodar a chave, a PV continua o seu ciclo normal e qualquer entrada nas zonas de segurança podem provocar a paragem dos movimentos perigosos. Contudo, se rodar a chave e não possuir permissões, ser-lhe-á negado os modos requisitados. Além disso, se possuir permissões, mas não rodar a chave também lhe será negado o acesso aos modos de silenciamento da segurança.

Por fim, se o operador possuir permissões para silenciar a segurança da PV e rodar a chave, ser-lhe-á atribuído as permissões do modo que requisitou, tal como solicitado no caderno de encargos.

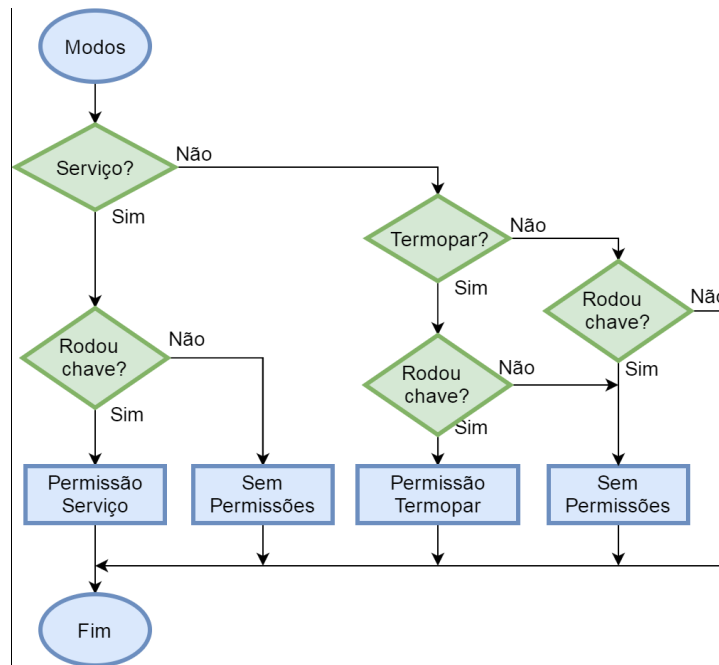


Figura 48 Fluxograma de verificação de permissões para silenciamento da segurança

As funções responsáveis pela monitorização da zona frontal da PV, são as funções *Área Vermelha* e *Área Amarela*, apresentadas na Figura 49.

A função *Área Amarela* verifica se as permissões para silenciar as áreas estão ativas, provenientes da função *Modos*, pois estas permitem o silenciamento da segurança. Se não existirem permissões, verifica se a área de segurança amarela está livre. Porventura, se esta estiver ocupada, é emitido um sinal a indicar que a área esta interrompida. Porém, se uma destas duas primeiras condições for verdadeira, então a função verifica se a comunicação está *ok*, envia ao PLC da PV a informação *Área Livre* e atua os contactores e testa-os. Se os contactores estiverem com um comportamento anómalo então é emitido um sinal de erro através da função EDM e os contactores são desativados.

A função *Área Vermelha* possui um comportamento semelhante à função área amarela. Esta inicia o seu ciclo verificando se as permissões de silenciamento da segurança da função *Modos* estão ativas. No caso de não existam permissões, é verificado se a função *Muting* está ativa, e caso esta não esteja ativa, é verificada se a área está livre. Se a condição *Área Livre?* se verificar falsa então é necessário pressionar *reset* para rearmar a área, pois a área foi interrompida.

A próxima condição testada é se as portas da PV estão prontas, isto é, caso tenham sido abertas, verifica se já foram fechadas e pressionado o *reset* local, seguindo o fluxograma da

Figura 51. Esta condição é testada, pois tanto as portas, como a área vermelha devem parar os movimentos perigosos da PV, ou seja, controlar o momento em que os contactores são atuados.

Uma vez testadas estas condições iniciais, é verificado o estado da comunicação, através do resultado da função de *Comunicação*, caso a comunicação falhe os contactores não são atuados nem a informação de que a *Área Pronta* é enviada ao PLC da PV.

Por fim, é enviada a informação *Área Pronta* ao PLC da PV, os contactores atuados e o EDM testado, caso ocorra *Erro EDM*, os contactores são desatracados e esta informação enviada ao PLC da PV.

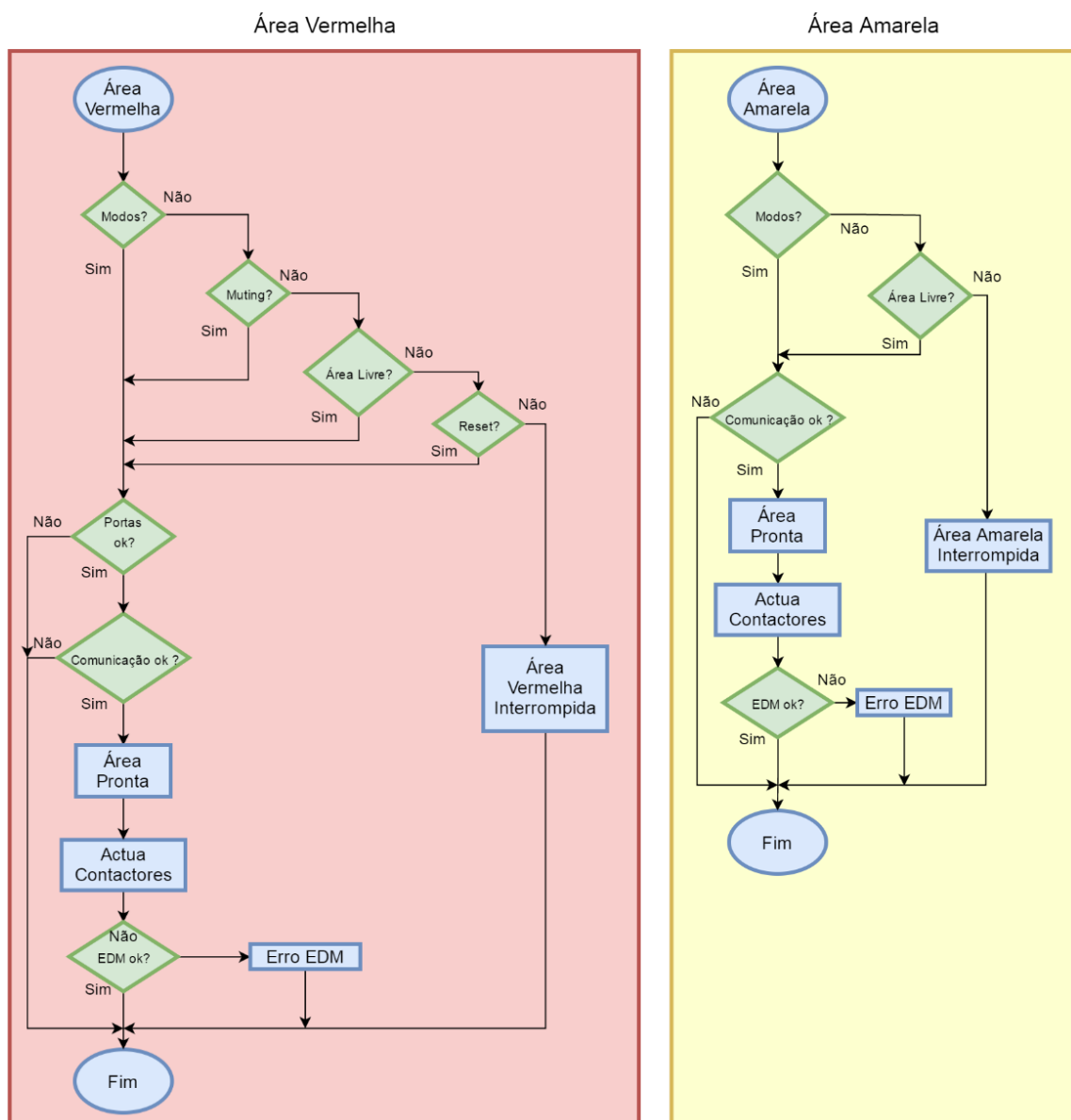


Figura 49 Fluxograma do funcionamento das áreas de segurança

A função *muting* ou silenciamento da área vermelha, apresentada na Figura 50, apenas tem como objetivo silenciar temporariamente a área vermelha. Esta função verifica se ambas as cavidades estão fechadas, e na eventualidade de ambas as cavidades se encontrarem fechadas é emitido o sinal a indicar que a PV está em *muting*.

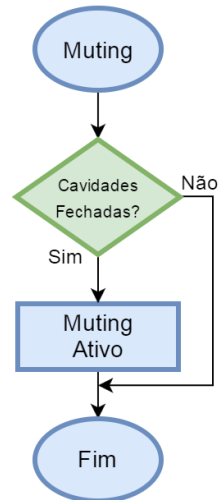


Figura 50 Fluxograma da função muting

A função *muting* verifica se ambas as cavidades estão fechadas, pois é o momento a partir da qual a zona frontal já não necessita de interromper os movimentos perigosos associados à área vermelha. Uma vez que, estes movimentos apenas ocorrem com a cavidade aberta. Para existir a garantia que a PV se encontra fechada, são analisados dois sinais físicos redundantes, o interruptor de PV fechada e o sinal a indicar que controlador da PV confirma que segundo a leitura recolhida do LVDT, a cavidade está fechada.

Na Figura 51 é apresentado o fluxograma da função *Portas*, responsável pelo de controlo das portas. Esta função é utilizada para verificar se existem acessos às zonas de perigo traseira e inferior.

A função inicia o seu ciclo analisando se os TR4 das portas estão fechados, caso estes se encontrem abertos liga a luz de *reset* local e verifica se o botão de *reset* foi pressionado, porém se este botão não for pressionado testa a condição *Modo Serviços*, se esta condição não estiver ativa aguarda que uma das condições seja verdadeira.

No entanto, se a porta tiver sido aberta e fechada, a luz de *reset* é acesa e obriga a o *reset* seja pressionado, garantindo que o rearme da PV não é acidental e que operador quando pressiona o *reset* está a confirmar que ninguém está dentro da zona de risco.

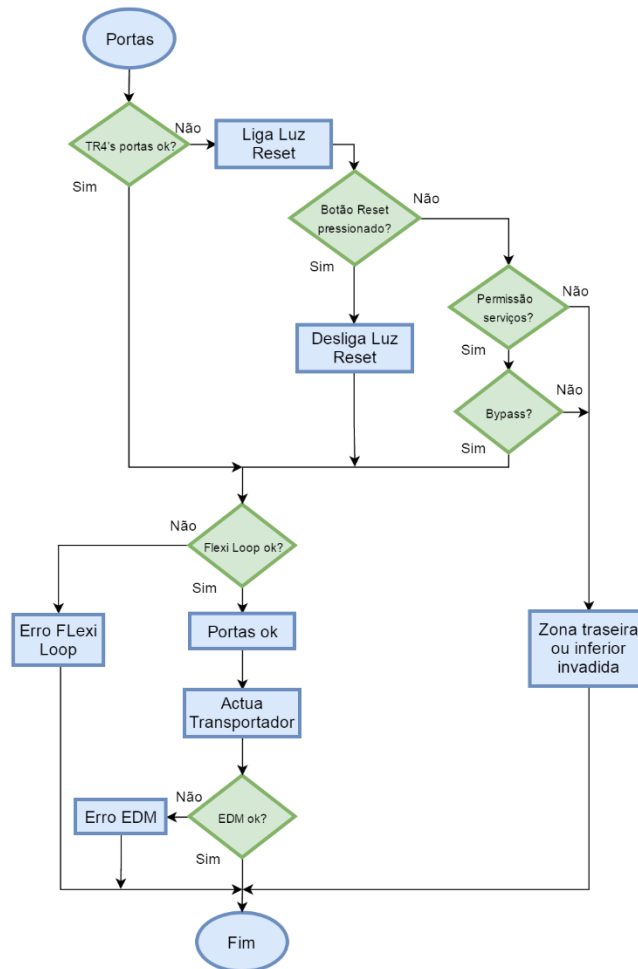


Figura 51 Fluxograma da função que controla as portas

A permissão *serviços* da função *Modos* é direcionada para a manutenção, pois são o principal grupo de operadores que necessita de acesso às áreas, traseira e inferior, e operar a PV durante este acesso. Assim, a permissão *Serviços* da função *Modos*, permite ao operador silenciar a segurança, porém, necessita que as portas estejam abertas e que o operador esteja a pressionar o botão *bypass*, garantindo que caso este largue o botão, o movimento pára, pois as portas deixam de estar *ok*. Se este pressionar o *bypass* o sinal de *Portas ok* é emitido, os contactores atuados e o EDM testado.

Na hipótese de a porta esteja fechada e o Flexi Loop sem problemas é emitido o sinal de *portas ok*, atuados os contactores que controlam o transportador e testado o EDM.

Porventura, se ocorrer um erro de EDM os contactores são desatrancados e a informação de erro enviada ao PLC da PV.

A PV possui um *driver*, que gere velocidade e força com que a descida ou subida da cavidade ocorre, bem como a sua entrada em movimento, quer a descer, quer a subir. Neste *driver* a velocidade e força do movimento da cavidade, bem como a descida da cavidade é controlada pelo PLC da PV. Porém, a entrada ou saída de atividade do movimento de descida da cavidade deve ser controlada pelo PLC de segurança.

Inicialmente é testada a comunicação, seguidamente é testada a condição de o PLC de segurança receber a ordem de descida vinda do PLC da PV, e se a informação de *Área Pronta* existe. Assim, então estão reconhecidas as condições para a cavidade descer e a ordem para descida é dada, tal como apresentado na Figura 52. Contudo, se um destes falhar, a cavidade não desce, pois, a ordem não é emitida e o driver não é atuado.

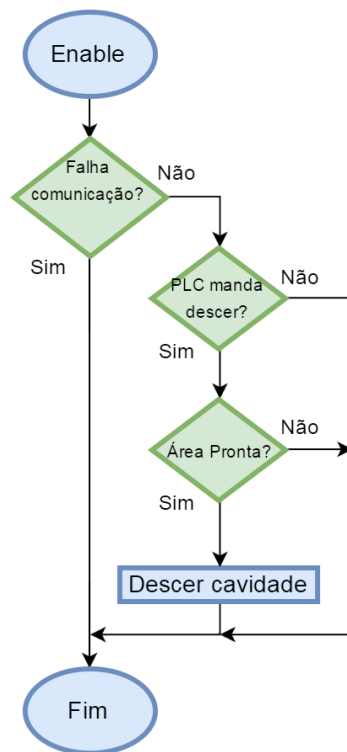


Figura 52 Fluxograma de enable do driver das cavidades

A função para controlo da sinalização, segue o fluxograma Figura 53. Este inicia o seu ciclo ao verificar se o modo termopar ou serviços foi ativado. Se um destes foi ativado emite a ordem para ligar a sinalização sonora e luminosa. Se não foi ativado, verifica se alguma das seguranças foi violada e se a comunicação se encontra bem. No caso de uma das condições tenha sido violada, liga a luz de *reset* no painel de operador. Seguidamente, verifica se a PV está modo automático, se sim está a vulcanizar e é emitido o sinal para

ligar a sinalização sonora e luminosa, se não existir nenhum problema então o ciclo termina sem ativar a sinalização.

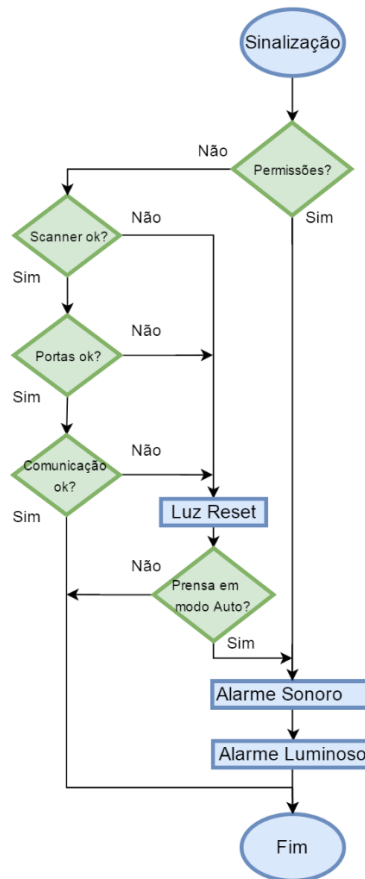


Figura 53 Fluxograma do controlo da sinalização

A função *Acesso Indevido* é responsável por alertar para o acesso indevido à área traseira, esta função verifica se o operador não tentou aceder à área traseira a partir da área frontal, entrando por dentro da PV , quando esta está aberta.

Para tal, esta função, apresentada na Figura 54, verifica se existe uma transição entre as áreas de segurança amarela e vermelha, do estado de ocupadas para o estado de área vermelha livre e área amarela ocupada, sem existir um mínimo de tempo gasto no processo.

Caso esse tempo não tenha sido ultrapassado, indica que o operador que se encontrava na área vermelha e amarela, saiu de ambas as áreas ao mesmo tempo. Logo, não saiu pela frente da prensa, pois tinha que sair da área amarela por último, ultrapassando o tempo mínimo para a transição entre as áreas.

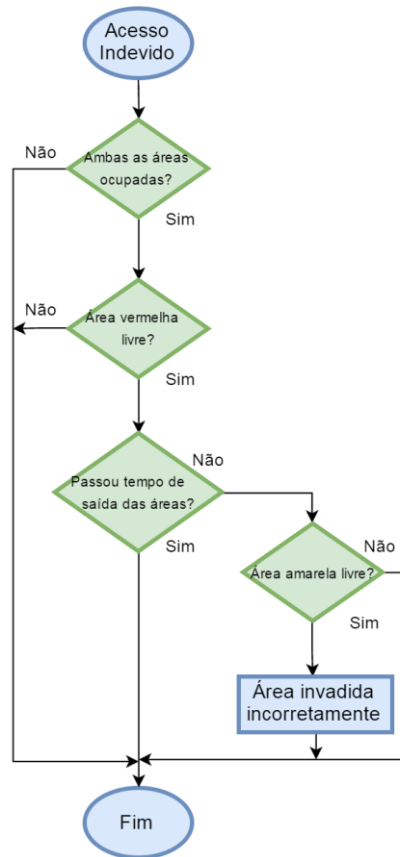


Figura 54 Fluxograma do acesso indevido à área traseira

A função *Comunicação*, apresentada na Figura 55, é responsável por verificar se ocorre falha na comunicação. Isto é, esta função aguarda a chegada de uma onda quadrada com frequência de 1 Hz e se em algum momento este sinal falhar então é emitido erro de comunicação.

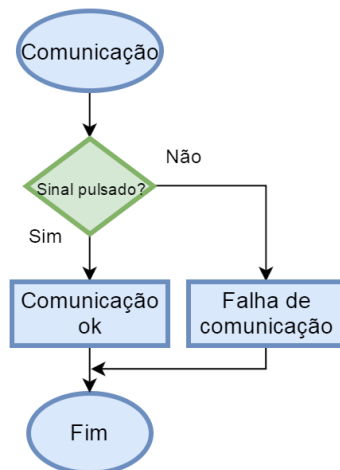


Figura 55 Fluxograma do controlo da comunicação

Por último, foi criada a função para envio dos resultados das funções ao controlador da PV. Esta função apenas envia o resultado de uma função à respectiva posição no *data set*, para que este seja enviado ao controlador da PV.

5.2.2. PLC DA PRENSA DE VULCANIZAÇÃO

O programa do PLC da PV sofreu alterações para poder integrar em conjunto com o PLC de segurança, as funções de segurança. Isto foi realizado com o objetivo de agregar o sistema de segurança na PV de modo simples e sem prejudicar o desempenho da produção. Assim, sempre que um movimento seja irregular, este passa a ser cortado do lado do sistema de segurança, e do lado do autómato da PV são emitidas as falhas para que o operador possa corrigir os problemas.

A comunicação entre ambos os sistemas é fundamental, para que, as funções de segurança e alertas existam. Adicionalmente, é necessário adaptar o programa da PV a esta nova realidade e efetuar o reendereçamento das variáveis de I/O, visto existirem mudanças físicas.

Comunicação

A comunicação utilizada, para a troca de dados entre a PV e o sistema de segurança, é EtherCAT. Esta foi configurada no sistema de segurança em *data sets*, logo, no PLC da PV também foi endereçada e organizada do mesmo modo.

Inicialmente, adicionou-se uma nova folha de variáveis e configurou-se os *data sets* nessa mesma folha. Os *data sets* foram organizados segundo o princípio apresentado anteriormente na Figura 45, nomeando as variáveis associadas aos bits e atribuindo-lhe um endereço. Uma vez realizado este trabalho, procedeu-se à *linkage*¹⁰ dos endereços dos bytes, no software, as estruturas físicas através do *system manager*. Finalizado este passo, a comunicação está implementada entre ambos os sistemas.

Funções

As funções criadas foram organizadas numa pasta, nomeada de “Segurança”, pois estas estão diretamente relacionadas com a segurança. Nesta pasta estão definidas duas funções, uma dedicada as falhas relacionadas com a segurança e uma segunda função relacionada com a sinalização e permissões do sistema de segurança.

¹⁰ Processo de atribuição de um nome no *software* a uma estrutura no *hardware*

A função *Falhas*, segue o fluxograma apresentado na Figura 56, verifica se a comunicação está funcional, analisa qual a falha existente no sistema de segurança e atribui um índice à falha, para esta ser identificada na base de dados. Seguidamente, esta é enviada ao painel de operador com o índice e o texto correspondente, pelo programa responsável pela gestão HMI.

As falhas resultantes desta função são meramente informativas, e têm como objetivo auxiliar o operador na identificação do motivo da PV estar em falha.

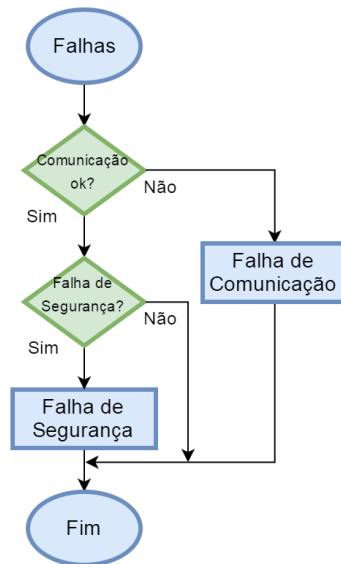


Figura 56 Fluxograma da função *Falhas*

As falhas criadas estão relacionadas com: a comunicação, os erros de EDM, as áreas invadidas, portas abertas e se a função *muting* está funcional.

As únicas falhas que receberam especial atenção foram as áreas e o *muting*, pois a invasão das áreas de segurança apenas é considerada falha se a PV estiver na fase que executa movimentos. Ou seja, para a área vermelha foi adicionada a condição não estar em *muting* e para a área amarela foi adicionada uma condição para verificar se a PV está a executar movimentos perigosos com o carregador.

O *muting* na função *Falhas* verifica se a PV está a vulcanizar e se está em *muting*, e na eventualidade, deste último não estar ativo é emitida a falha de *muting*.

A segunda função adicionada, tem como objetivo preparar algumas das informações enviadas ao PLC de segurança, como por exemplo: as permissões do operador da PV,

estado da cavidade, sinal pulsado enviado ao PLC de segurança para controlo da comunicação, a lâmpada do botão de *reset* no painel de operador, atuar a sinalização e atuar o sinal do LVDT, enviado fisicamente ao PLC de segurança.

As permissões do operador da PV são analisadas com base no ID do utilizador, este possui um nível numérico de acesso (1,2, 3). Assim, caso não exista erro na comunicação e a ID for de nível 1 o utilizador tem permissões para utilizar o termopar, e se for nível 2 ou 3 apenas pode utilizar o modo serviços.

O estado da cavidade é enviado ao PLC de segurança, pois este utiliza essa informação para atuar o *driver* que controla a abertura das cavidades. Esta informação apenas indica ao PLC de segurança qual das cavidades está a mover-se e se esse movimento é de abertura ou fecho.

O botão de *reset* de segurança está integrado no sistema de segurança, porém, apenas a sua sinalização é realizada pelo PLC da PV. Este verifica se o sistema de segurança está a solicitar *reset* e emite um sinal de saída, ligado ao LED do botão, com uma frequência de 2 Hz.

O sinal pulsado é um sinal de confirmação de comunicação, enviado ao PLC de segurança com uma frequência de 1 Hz.

Por fim, as duas últimas ações realizadas nesta função são, a leitura do sinal do LVDT e a sinalização. O PLC recebe o sinal do LVDT que indica que a PV está fechada e atua a respetiva saída, para envio do sinal, físico, ao PLC de segurança. A sinalização possui algumas diferenças, isto é, no caso de faltar 3 segundos para PV abrir e a área amarela não estiver livre, é gerado um alarme sonoro com uma frequência de 1 Hz. Contudo a frequência é alterada para 2 Hz se a PV estiver a abrir e a área amarela estiver interrompida, se PV estiver a vulcanizar e não possuir algumas funções ativas.

O alarme de frequência 2 Hz, também é ativado no caso de existir erro de comunicação ou um dos modos especiais esteja ativo, termopar ou serviços.

TimeOut

O objetivo de realizar alterações no software da PV é, não só facilitar o despiste de falhas relacionadas com o sistema de segurança, como também adapta-lo aos novos problemas

que podem surgir. Assim, para realizar esta última tarefa é necessário introduzir algumas condições nas funções *TimeOut* relacionadas com o movimento da PV.

As funções definem uma janela temporal máxima, na qual o movimento pode ocorrer. Os *TimeOut* têm como objetivo identificar erros no sistema para posteriormente serem emitidas falhas intrínsecas à PV. Logo, quando uma área está ocupada, está a criar uma falha não só de área ocupada, mas também a criar uma falha interna à PV, originando erros de diagnóstico por parte do operador.

Assim, para evitar este problema e integrar o projeto ISCP como requisitado no caderno de encargos, isto é, sem prejudicar a produção. Foram acrescentadas condições, de área invadida, antes do tempo começar a contar, tal como apresentado no fluxograma na Figura 57. Para que, o *TimeOut* só ocorra caso a PV se encontre com um erro interno, evitando que o tempo se esgote devido à área estar interrompida. Estas condições foram aplicadas a todos os movimentos indicados como perigosos no caderno de encargos, pois são estes que são interrompidos.

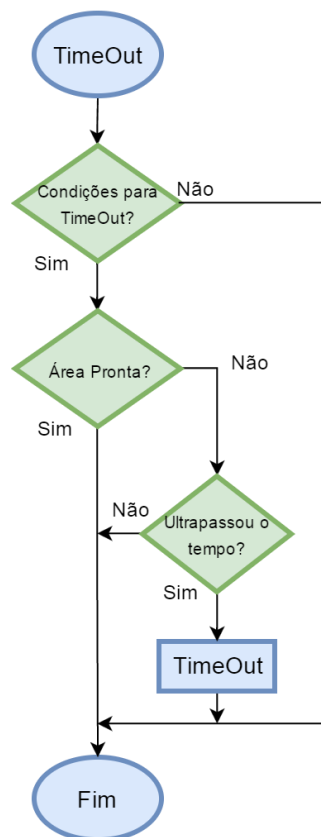


Figura 57 Fluxograma da função TimeOut

6. CONCLUSÕES

Ao longo deste texto foram sendo apresentadas conclusões que permitiram sustentar as opções de desenvolvimento efetuadas ao longo do projeto. Assim, nesta última seção é realizada uma síntese das principais conclusões, consequências e relevância do trabalho realizado e perspectivas futuros desenvolvimentos.

Um dos grandes problemas deste protótipo, foi o layout em que a PV foi disposta. Isto é, a PV que sofreu intervenção foi disposta num layout diferente das demais existentes na fábrica. Enquanto que as restantes PV instaladas estão dispostas perpendicularmente ao transportador, estas foram dispostas num ângulo de aproximadamente 45° em relação ao mesmo referencial. Em consequência, as disposições dos dispositivos e os softwares seriam diferentes.

Assim, um primeiro problema foi o *scanner* de segurança, um dos elementos fundamentais do sistema de segurança. A disposição deste seria à partida um problema, pois com um layout tão diferente e com restrições de material, utilizar um só *scanner* seria difícil. Aqui realizar um teste no projeto *CAD* da PV foi uma mais valia pois permitiu eliminar possíveis disposições sem necessidade de interromper o normal fluxo de produção.

Uma vez definida a posição do scanner, o próximo passo seria reduzir as áreas de segurança ao mínimo possível sem necessidade de grande investimento. Aqui a solução passou pela instalação de grades na zona da área de segurança vermelha, contudo estas não poderiam ser fixas pois impedia o acesso à cavidade para mudanças de molde e manutenções. A solução passou por instalarem-se portas, estas poderiam ser de “correr” ou portas com dobradiça. A opção tomada foram as portas de dobradiça pois têm melhores apoios, o que reduz a vibração a que está sujeita. Este fator é importante, pois dispositivos sujeitos a oscilações podem invadir a área do scanner quando a PV está em movimento.

As zonas traseiras e inferiores foram dimensionadas com o objetivo de serem semelhantes às PVs com o projeto ISCP já instalado. Isto é importante, pois permite que os operadores da PV necessitem de uma curva de aprendizagem menor para aprenderem a trabalhar com a tecnologia instalada. O que por sua vez faz com que estas alterações tenham menor impacto na produção. Assim, os *Flexi Loops* instalados apesar de possuírem algumas diferenças, possuem bastantes semelhanças.

Ao nível elétrico, as alterações efetuadas são maiores, pois existe a necessidade de interligar dois sistemas. No sistema de segurança as ligações dos *loops* foram simples, uma vez que apenas foi necessário ligar duas linhas de alimentação e três linhas de dados. Do mesmo modo, o controlador de segurança apenas necessita de ligar uma saída e uma entrada aos contactores, divididos por zonas de risco. Porém as ligações físicas devem estar de acordo com as ligações definidas no software, para que o sistema de segurança funcione corretamente.

O corte das saídas que atuam os movimentos perigosos foi realizado fisicamente pelo sistema de segurança. Esta regra definida no caderno de encargos, leva a que cada sinal tenha que ser enviado ao sistema de segurança e depois devolvido. Aqui exigiu um pouco mais de organização, pois gerou alguma confusão devido ao volume de linhas, o que levou a que fossem redigidos documentos de apoio aos instaladores.

No controlador da PV foram realizadas alterações elétricas, pare que este suportasse as exigências que o caderno de encargos requeria. Isto é, para permitir instalar sinalização, envio de sinais fisicamente e troca de dados por EtherCAT. Estas alterações levaram a que fossem instaladas novas cartas e novos bornes.

Ao nível do *software*, criou-se no sistema de segurança as funções requeridas no caderno de encargos, como o *muting* e permissões, bem como as funções de segurança. No controlador da PV as alterações, foram no sentido de regularizar as alterações no *hardware* e por aceitar os requisitos do sistema de segurança. Para isto, foi necessário acrescentar funções e condições no software da PV.

Depois de instaladas todas as alterações, de *hardware* e *software*, foi necessário realizar alguns ajustes na posição do *scanner* de segurança, mas apenas em altura.

Por fim, concluído o protótipo este será instalado nas restantes PV da mesma família e com a mesma disposição, para que seja inspecionada por um inspetor de segurança certificado.

Contudo, apesar de todo o sistema estar de acordo com o caderno de encargos este ainda não foi completamente aceite pelos operários. Pois, estes queixam-se que a área amarela de segurança é demasiado grande e não permite que estes operem a PV sem interferir na seguinte. Assim, como futura melhoria seria a instalação de um sistema adicional de segurança no carregador, para que a área amarela seja reduzida e melhore as condições de trabalho sem por em causa a segurança.

Em suma, o protótipo idealizado foi implementado e apesar das dificuldades encontradas, com a ajuda de toda a equipa, foi possível atingir um bom resultado, cumprindo as exigências do projeto.

Referências Documentais

1. Sick AG, *Guide for Safe Machinery*, in *SIX STEPS TO A SAFE MACHINE*. Maio de 2016; Disponível:
https://www.sick.com/media/dox/8/78/678/Special_information_Guide_for_Safe_Machinery_en_IM0014678.PDF
2. Continental, *History 1997 - 2010*, Maio de 2016; Disponível:
http://www.continental-corporation.com/www/portal_com_en/themes/continental/history/1997_2010.html.
3. Continental, *Continental Corporation*. Maio de 2016; Disponível:
http://www.continental-corporation.com/www/portal_com_en/themes/continental/channel_facts_figures/facts.html.
4. Continental, *Tyre Basics Passenger Car Tyres*, Junho de 2016; Disponível:
<http://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/85818/d2e4d4663a7c79ca81011ab47715e911/download-tire-basics-data.pdf>.
5. Rockwell Automation, *Tire Curing Press Machine*, Fevereiro de 2016; Disponível :
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/oem-wp016_-en-p.pdf
6. Heeps, G., *Spark for change*. in *tire Technology International*, Junho de 2016; Disponível:
http://www.tiretechnologyinternational.com/magazine_archive.php
7. Pires, J.N., *Automação Industrial*. 3ª Edição ed. Automação e Róbotica, ed. ETEP. 2007: LIDEL - eições técnicas, lda.
8. *Tire Manufacturing*, in *Tire Tread and Tire Track Evidence*. 2008, CRC Press. p. 135-136.
9. Rockwell Automation, *Protective Measures and Complementary Equipment*. Junho de 2016; Disponível:
<http://www.ab.com/en/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7131359/print.html>

10. F.Fonseca, *Solução para distribuição inteligente de corrente MICO da Murrelektronik*. Julho de 2016; Disponível:
http://www.ffonseca.com/artigo.aspx?lang=pt&id_object=721510&name=Solucao-para-distribuicao-inteligente-de-corrente---MICO-da-Murrelektronik
11. PLCOpen, *Introduction into IEC 61131-3 Programming Languages*, Agosto de 2016; Disponível:
http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/iec_61131_3/.
12. Continental, *ISCP Requirement Book*. 2016.
13. Sick AG, *S3000 Safety laser scanner, Operating Instructions*, Agosto de 2016; Disponível:
https://www.sick.com/media/dox/3/63/863/Operating_instructions_S3000_Safety_Laser_scanner_en_IM0011863.PDF .
14. Sick AG, *EFI – Enhanced Function Interface, Safe Sick device communication*, Agosto de 2016; Disponível:
https://www.sick.com/media/dox/4/64/864/Technical_information_EFI_Enhanced_Function_Interface_en_IM0032864.PDF .
15. Sick AG, *C2000/M2000 Safety Light Curtain/ Multibeam Photoelectric Safety Switch, Operating Instructions*, Agosto de 2016; Disponível:
https://www.sick.com/media/dox/8/48/848/Operating_instructions_C2000_M2000_da_de_en_fi_fr_el_it_nl_no_pt_sv_es_IM0013848.PDF .
16. Vedat Coskun, K.O.a.B.O., *NEAR FIELD COMMUNICATION FROM THEORY TO PRACTICE*. First ed. 2012: John Wiley & Sons, Ltd.
17. Sick AG, *TR4 Direct Rectangular Safety Switch, Operating Instructions*, Agosto de 2016; Disponível:
https://www.sick.com/media/dox/9/89/789/Operating_instructions_TR4_Direct_Rectangular_Safety_Switch_de_en_fr_es_it_IM0045789.PDF .
18. Sick AG, *i17S Safety switch with separate actuator, Operating Instructions*, Agosto de 2016; Disponível:
https://www.sick.com/media/dox/1/71/871/Operating_instructions_i17_S_safety_switch_with_separate_actuator_de_en_fr_it_IM0006871.PDF .
19. Sick AG, *i14 Lock Safety Locking Device, Operating Instructions*, Agosto de 2016; Disponível:
https://www.sick.com/media/dox/9/69/869/Operating_instructions_i14_Lock_safety_locking_device_de_en_fr_it_IM0006869.PDF .

20. Omron Electronics, *Safety Edges & Bumpers, Datasheet*, Agosto de 2016; Disponible:
https://downloads.omron.us/IAB/Products/Safety/Safety%20Mats%20and%20Edges/Safety%20Edges%20and%20Bumpers/F52I%20DS/SGE_SCS_Datasheet_en_201510_F52I-E-02.pdf .
21. Sick AG, *Flexi Soft Gateways, Operating Instructions*, Agosto de 2016; Disponible:
https://www.sick.com/media/dox/8/18/218/Operating_instructions_Flexi_Soft_Gateways_en_IM0033218.PDF .
22. Sick AG, *Flexi Loop safe sensor cascade hardware, Operating Instructions*, Agosto de 2016; Disponible:
https://www.sick.com/media/dox/3/03/903/Operating_instructions_Flexi_Loop_Safe_sensor_cascade_en_IM0051903.PDF .

Anexo A. Área de monitorização do S3000

