

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Upgrade de Estação de Descarga e Armazenagem de Negro de Fumo

José Augusto Durães Rodrigues

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Paulo Portugal

Co-orientador: Bruno Nunes

31 de Julho de 2015

A Dissertação intitulada

“Upgrade de Estação de Descarga e Armazenagem de Negro de Fumo”

foi aprovada em provas realizadas em 23-07-2015

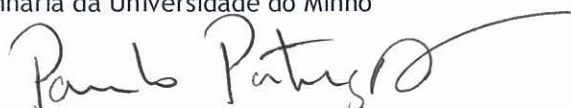
o júri



Presidente Professor Doutor Rui Manuel Esteves Araújo
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

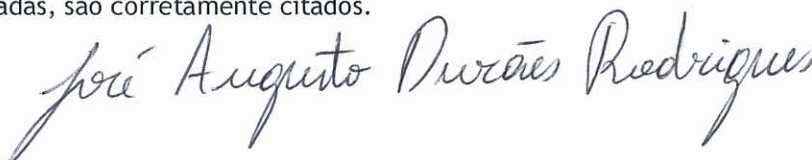


Professora Doutora Filomena Maria Rocha Menezes Oliveira Soares
Professora Associada do Departamento de Eletrónica Industrial da Escola de
Engenharia da Universidade do Minho



Professor Doutor Paulo José Lopes Machado Portugal
Professor Associado do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - José Augusto Durães Rodrigues

Resumo

A presente dissertação, que decorreu em ambiente industrial, incidiu sobre a migração da plataforma de controlo referente a uma estação de descarga e armazenagem de negro de fumo. Esta estação por sua vez encontra-se inserida num processo de produção de borracha de alta resistência e durabilidade. O *upgrade* da estação, para além da atualização da plataforma de controlo, prevê também uma completa renovação dos equipamentos que se encontram obsoletos, sejam estes elétricos ou mecânicos. De facto, esta necessidade de renovação da estação deriva da idade da mesma.

O foco deste projeto passa concretamente por fazer um planeamento detalhado da migração da plataforma de controlo existente. Tal implica que seja feito inicialmente um estudo estrutural e funcional tanto da estação de descarga como dos sistemas envolventes. Uma vez compreendido o modo de funcionamento da estação de descarga, procedeu-se à análise de medidas que poderão ser tomadas de forma a minimizar os prejuízos causados pela paragem da mesma. Uma das medidas identificadas passa pela recuperação dos sistemas de alimentação de contingência que atualmente se encontram inacabados. Assim sendo foi feita uma abordagem para a recuperação destes sistemas. Nesta abordagem incluiu-se também o desenvolvimento de uma interface Homem-Máquina adequada a estes.

Por último foi necessário proceder à elaboração da especificação técnica para a migração da plataforma de controlo antiga para uma nova plataforma. Assim sendo começou-se por fazer o levantamento do sistema existente. Depois de analisadas informações recolhidas foram estabelecidos os requisitos mínimos que deverão ser garantidos pela nova plataforma de controlo ao nível do hardware. Quanto à adaptação da aplicação existente à nova plataforma de programação, recorreu-se à linguagem de modelação *Grafcet* para modelar o funcionamento da Estação de Descarga e Armazenagem e auxiliar o programador no processo de conversão.

Abstract

This thesis, which took place in an industrial environment, focused on the migration of a control platform that belongs to a carbon black unloading station. This station is inserted in the production process of a high strength and durable rubber. The station's upgrade, beyond the control platform update, it also provides a complete renewal of the equipment that are obsolete, whether electrical or mechanical. In fact, this need for renewal derives from the station's long age.

The main focus of this project is to make a detailed plan for the migration process of the existing control platform. This implies that it is made a structural and functional study of the unloading station and the enveloping systems. Once understood how the unloading station operates, it was proceeded to the analysis of measures that could be taken to minimize the damage caused by the station's stoppage. One of the measures identified involves the recovery of contingency supply systems that are currently unfinished. Therefore an approach was made for the recovery of these systems. In this approach was also included the development of an appropriate human-machine interface.

Finally it was necessary to proceed with the preparation of the technical specification for the migration of the old control platform to a new platform. As first step it was made an audit to the existing system. After analyzing the collected information it was established the minimum requirements to be guaranteed by the new platform control at the hardware level. Regarding the adaptation of the existing application to the new programming platform, we used the modeling language Grafcet to model the operation of the unloading station and assist the developer in the conversion process.

Agradecimentos

A todos aqueles que contribuíram para o meu sucesso académico, o meu muito obrigado.

Ao Professor Paulo Portugal pelo apoio, incentivo e disponibilidade demonstrada ao longo deste último semestre.

Ao Eng. Bruno Nunes e ao restante pessoal da Continental Mabor que me acompanhou mais de perto na realização desta dissertação.

Aos meus amigos por toda a diversão e boa disposição.

À Catarina pela paciência, apoio e carinho em todos os momentos.

À minha família por todo o apoio e incentivo.

Por fim um especial obrigado aos meus pais, pois foram eles os grandes responsáveis por eu ter chegado até aqui. Obrigado.

José Rodrigues

“Dream big and dare to fail.”

Norman Vaughan

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Motivação	2
1.3	Objectivos	3
1.4	Metodologia	3
1.5	Estrutura da Dissertação	4
2	Enquadramento Teórico	5
2.1	Modelação Grafcet	5
2.1.1	Elementos básicos	6
2.1.2	<i>Gracets</i> hierárquicos	6
2.2	Interface Homem-Máquina	7
2.2.1	Objetivo	7
2.2.2	Plataformas	8
2.2.3	Qualidade da Interface	8
2.2.4	Código de Cores	9
2.3	PLCs e IPCs	10
2.3.1	Aspetos Gerais	10
2.3.2	Comparação Técnica	11
2.3.3	Comparação de Custos	13
3	Descrição da Situação Existente	15
3.1	Estações de Descarga e Armazenagem	16
3.1.1	Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1A	18
3.1.2	Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1B	20
3.2	Sistemas de Transporte de NF	21
3.2.1	Sistemas de Transporte de NF 1	22
3.2.2	Sistemas de Transporte de NF 2	23
4	Plano de Contingência	25
4.1	Estratégia	25
4.2	Sistema de Alimentação de Contingência por <i>Big Bags</i>	28
4.2.1	Estrutura	28
4.2.2	Comando e Sinalização	30
4.2.3	Equipamento de Controlo	31
4.2.4	Procedimento Atual	33
4.2.5	Melhorias	36
4.3	Interface Homem-Máquina	44

4.3.1	Planeamento do processo de desenvolvimento do HMI	44
4.3.2	Compreender e especificar o contexto de uso	46
4.3.3	Especificar os requisitos organizacionais bem como ao nível do utilizador	50
4.3.4	Desenvolvimento da solução tendo em conta os requisitos estabelecidos	54
4.3.5	Avaliação da solução desenvolvida tendo em conta os requisitos estabelecidos	60
5	Migração da Plataforma de Controlo	69
5.1	Estratégia	70
5.2	Hardware	71
5.2.1	Levantamento do Equipamento Existente	71
5.2.2	Análise de Requisitos	74
5.2.3	Proposta	75
5.3	Software	79
5.3.1	Modelação	80
5.3.2	Proposta	89
6	Conclusão	91
A	Anexos	93
A.1	Especificação da Interface Homem-Máquina	94
A.1.1	Tabela de Conteúdos	94
A.1.2	Introdução	94
A.1.3	Aspetos Gerais	97
A.1.4	Especificação Detalhada	108
A.1.5	Conclusão	114
A.2	Visão geral do sistema	115
A.3	Avaliação Heurística do HMI	116
A.4	Excertos da especificação técnica referente aos controladores Siemens	117

Lista de Figuras

1.1	Datas de descontinuação dos produtos da gama SIMATIC S5	3
2.1	<i>Grafcet</i> exemplo 1	5
2.2	<i>Grafcet</i> exemplo 2	7
2.3	Mau exemplo da utilização da cor num HMI	10
2.4	Bom exemplo da utilização da cor num HMI	10
2.5	Performance vs Custo	13
2.6	Capacidade de Expansão vs Custo	14
2.7	Ambiente de Operação vs Custo	14
3.1	Sinóptico referente aos sistemas de descarga e transporte do NF	15
3.2	Estação de Descarga e Armazenagem 1A	18
3.3	Estação de Descarga e Armazenagem 1B	20
3.4	Sistema de Transporte 1	22
3.5	Sistema de Transporte 2	23
4.1	Esquema representativo da expansão da EDA 1B	27
4.2	Sistema de Alimentação de Contingência 2	29
4.3	Sinóptico referente ao sistema de contingência e respectiva legenda	30
4.4	Distribuição dos elementos de controlo relacionados com o SAC	33
4.5	<i>Grafcet</i> referente à alimentação	34
4.6	<i>Grafcet</i> referente ao estado de emergência	35
4.7	<i>Grafcet</i> referente à ativação independente da válvula rotativa	35
4.8	<i>Grafcet</i> referente ao normal funcionamento	36
4.9	Sistema de transporte auxiliar ao SAC1	37
4.10	Sistema de transporte auxiliar ao SAC2	38
4.11	<i>Grafcet</i> referente ao normal funcionamento (atualizado)	40
4.12	<i>Grafcet</i> referente ao transporte automático (SAC 1)	41
4.13	<i>Grafcet</i> referente ao transporte automático (SAC 2)	42
4.14	<i>Two Way Diverters</i> , Sistema de transporte auxiliar ao SAC1	43
4.15	<i>Grafcet</i> referente à ativação independente da aspiração	44
4.16	Etapas do processo de construção de um HMI de acordo com a norma ISO 13407	45
4.17	Diagrama de Gantt referente às tarefas necessárias para desenvolvimento do HMI	46
4.18	Modelo hierárquico de tarefas	49
4.19	Procedimento para execução do processo de descarga de <i>big bag</i>	54
4.20	Organização do template adoptado	55
4.21	Aplicação prática do <i>template</i> definido	56
4.22	Exemplo de display dedicado à estação de descarga	57
4.23	Exemplo de display dedicado ao transporte do material	58

4.24	Exemplo de display dedicado aos alarmes	58
4.25	Exemplo de display dedicado às definições do sistema	59
4.26	Mapa de navegação entre os vários displays	60
4.27	Passos a cumprir de forma a iniciar o processo de descarga	64
4.28	Passos a cumprir de forma a a comutar o modo de abastecimento	66
4.29	Passos a cumprir de forma a alterar os parâmetros de funcionamento	67
5.1	Autómato SIMATIC S5 a substituir	71
5.2	Rede distribuída referente ao sistema de controlo S5	72
5.3	Comparação entre autómatos da gama S5 e S7	75
5.4	Hierarquia de <i>Grafquets</i>	80
5.5	<i>Grafquet 1</i> , referente à alimentação do sistema	81
5.6	<i>Grafquet 2</i> , referente ao estado de emergência do sistema	81
5.7	<i>Grafquet 3</i> , referente à ocorrência de um novo pedido de descarga	82
5.8	<i>Grafquet 4</i> , referente aos preparativos para o processo de descarga	83
5.9	<i>Grafquet 8</i> , referente à configuração da tubagem	84
5.10	Esquema da EDA 1A, com legenda referente aos seus <i>diverters</i>	85
5.11	<i>Grafquet 5</i> , referente aos comandos de arranque e paragem do sistema	86
5.12	<i>Grafquet 6</i> , referente ao funcionamento da válvula borboleta precedente à tremonha	87
5.13	<i>Grafquet 7</i> , referente ao funcionamento da válvula rotativa e do ar comprimido para o transporte	88
A.1	Enquema relativo ao enquadramento do SAC	95
A.2	Mapa de Navegação	98
A.3	Template	100
A.4	Esquema PID referente à estação de Big Bags	102
A.5	Legenda referente ao esquema PID da estação de descarga	102
A.6	Esquema referente ao transporte do material.	103
A.7	Tabela de alarmes exemplificativa.	104
A.8	Configuração dos parâmetros de funcionamento do sistema	105
A.9	<i>Layout</i> de botão	106
A.10	<i>Layout</i> de indicador luminoso referente à alimentação do sistema	108
A.11	Exemplo de sistema log on/off	108
A.12	<i>Layout</i> de janela de aviso	110
A.13	Exemplo da evolução de uma dada variável <i>trend</i>	111
A.14	Rascunho referente ao display inicial	112
A.15	Rascunho referente ao display Big Bag Station	112
A.16	Rascunho referente ao display Transport	113
A.17	Rascunho referente ao display Alarms	113
A.18	Rascunho referente ao display Settings	114
A.19	Sistemas envolvidos no abastecimento das linhas de misturação	115
A.20	Lista de heurísticas usadas habitualmente, [15]	116
A.21	Especificação técnica do CPU 942-7UB11 da gama S5-115U	117
A.22	Excerto da especificação técnica do CPU 315-2 PN/DP da gama S7-300	118
A.23	Excerto da especificação técnica do CPU 315-2 PN/DP da gama S7-300	119

Lista de Tabelas

2.1	Código de cores para indicadores luminosos e respectivo significado tendo em conta a condição da máquina	9
3.1	Modelos dos autómatos referentes aos sistemas envolvidos	17
4.1	Trabalhos a realizar durante o processo de upgrade da EDA 1A	26
4.2	Breve descrição dos sinais referentes à plataforma de descarga	31
4.3	Vantagens e Desvantagens relativas à Avaliação Heurística	61
4.4	Vantagens e Desvantagens relativas ao Teste de Usabilidade	63
5.1	Equipamento Siemens SIMATIC S5	73
5.2	Contabilização das E/S utilizadas	74
5.3	Proposta para o novo sistema de controlo, SIMATIC S7	78
A.1	Simbologia de Cores	99
A.2	Estados do sistema	101
A.3	Comandos localizados na barra lateral esquerda do template (Zona a azul)	106
A.4	Comandos de navegação (Zona a vermelho)	107
A.5	Comandos secundários	107

Abreviaturas e Símbolos

CPU	Central Processing Unit
E/S	Entradas e Saídas
EAN	International Article Number
EDA	Estação de Descarga e Armazenagem de Negro de Fumo
HMI	Human-Machine Interface
IEC	International Eletrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
NF	Negro de Fumo
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
SAC	Sistema de Alimentação de Contingência
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SFC	Sequential Function Chart
ST	Sistema de Transporte
UPC	Universal Product Code

Capítulo 1

Introdução

O presente documento intitulado "Upgrade de Estação de Descarga e Armazenagem de Negro de Fumo" foi redigido no âmbito da unidade curricular Dissertação e resultou de uma parceria existente entre a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A. Este projeto de dissertação foi proposto pela empresa e decorreu nas instalações da empresa em Lousado. A unidade curricular Dissertação constitui a última etapa do plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Como tal no decorrer desta unidade curricular foi proposto o desenvolvimento de um projeto de investigação que se centrasse na resolução de um problema real, e cuja solução deve passar pela aplicação dos conhecimentos que foram adquiridos ao longo do curso.

Neste capítulo inicial será feita uma apresentação geral do tema que deu origem a esta dissertação. Como tal será desde logo descrito o enquadramento necessário de forma a tornar a compreensão do documento o mais acessível possível. Em seguida serão abordadas as razões que motivaram a realização deste documento, bem como discutidos os objetivos traçados para o mesmo. Por fim será referida a metodologia adoptada na abordagem realizada e definida a estrutura escolhida para o documento.

1.1 Enquadramento

O tema desta dissertação incide sobre a fase inicial de um processo industrial, o armazenamento da matéria-prima. A matéria-prima aqui em causa trata-se de uma das variedades mais puras do carvão, também conhecida por Negro de Fumo. Esta matéria-prima tem inúmeras aplicações, contudo no contexto aqui apresentado esta é utilizada unicamente para a produção de borracha de alta resistência e durabilidade.

A Estação de Descarga e Armazenagem, referida no título da dissertação, faz parte de um sistema maior que visa a produção de borracha. Esta estação tem como função encaminhar o Negro de Fumo desde a zona onde é descarregado até deposição deste dentro dos silos de armazenamento mensal. Uma vez nos silos mensais o material passa a estar disponível às linhas misturadoras para

que estas possam produzir a borracha. São cinco as qualidades de Negro de Fumo utilizadas, e a cada silo existente está associada apenas um destes tipos. Embora a Estação de Descarga e Armazenagem não incida diretamente no processo de produção da borracha, esta é considerada um dos elementos fundamentais, uma vez que uma eventual paragem da sua parte significaria a paragem da produção.

O sistema geral responsável pela produção da borracha é constituído por uma série de sistemas menores, dos quais faz parte a Estação de Descarga e Armazenagem aqui mencionada. Parte destes sistemas constituintes, incluindo a Estação de Descarga e Armazenagem, irão ser descritos com mais detalhe no Capítulo 3. Como será possível constatar neste capítulo, o sistema geral possui duas estações de descarga que possuem diferentes características. Esta distinção existente entre as duas estações de descarga resultou sobretudo das diferentes datas em que estas foram construídas. Enquanto que a Estação de Descarga e Armazenagem, que motivou a realização deste documento, foi contruída há um período de tempo considerável, a outra estação foi construída há relativamente pouco tempo. Logo uma das grandes diferenças passa pela idade dos componentes e equipamentos que as constituem. É precisamente aqui que irá residir a motivação do "Upgrade de Estação de Descarga e Armazenagem de Negro de Fumo".

1.2 Motivação

O título "Upgrade de Estação de Descarga e Armazenagem" por si só já permite tirar algumas conclusões, ainda que vagas, acerca do propósito desta dissertação. De facto, como já havia sido mencionado, a Estação de Descarga e Armazenagem aqui em causa caracteriza-se por estar relativamente ultrapassada no que se refere aos seus elementos constituintes. Com o passar do tempo tanto os componentes mecânicos como os componentes elétricos começaram a ficar desatualizados e alguns até obsoletos, levando por vezes a prejuízos desnecessários. É o que acontece precisamente com os equipamentos de controlo.

Atualmente a Estação de Descarga e Armazenagem é controlada a partir de equipamentos de controlo cujo o modelo do autómato (S5-115) se encontra completamente obsoleto, Siemens SIMATIC S5.

Posto isto existe uma certa urgência em proceder à substituição dos equipamentos de controlo da Estação. Certo é que uma atualização deste género irá implicar uma paragem provisória da Estação de Descarga e Armazenagem por um período de tempo significativo. Assim sendo, e tendo em conta que esta Estação constitui o principal meio de armazenamento do Negro de Fumo nos silos de armazenamento mensal, terá que ser elaborado um planeamento cuidado dos trabalhos bem como encontradas alternativas para substituição temporária da Estação de Descarga e Armazenagem.

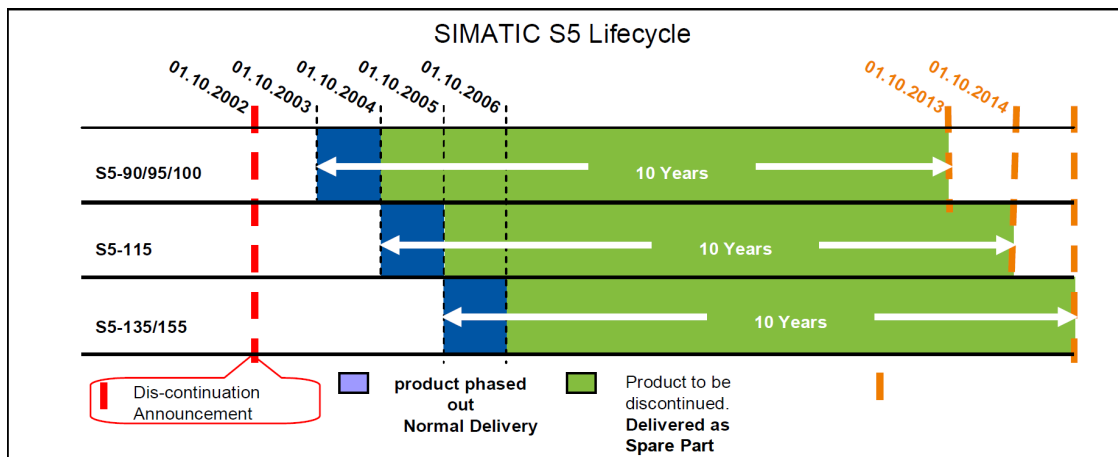


Figura 1.1: Datas de descontinuação dos produtos da gama SIMATIC S5

1.3 Objectivos

O objetivo principal deste projeto de dissertação passa por fazer um estudo da situação atual do sistema e tendo em conta os dados recolhidos providenciar o melhor planeamento para o *upgrade* da Estação de Descarga e Armazenagem. Como tal foi necessário estabelecer um conjunto de objetivos intermédios que permitissem alcançar o objetivo principal que havia sido proposto.

- Em primeiro lugar procurar-se-á conhecer e definir a situação existente, não só no que diz respeito à Estação de Descarga e Armazenagem mas também nas interfaces com os vários Sistemas de Transporte (silos mensais para silos diários) e com a outra estação de descarga construída mais recentemente - Capítulo 3.
- Em segundo lugar serão abordadas medidas de contingência que poderiam vir a ser implementadas no sentido de minimizar os prejuízos causados pela paragem da Estação de Descarga e Armazenagem. Das medidas propostas dar-se-á especial ênfase à recuperação dos Sistemas de Alimentação de Contingência - Capítulo 4
- Por último será elaborada a especificação técnica necessária para a atualização da plataforma de controlo referente à Estação de Descarga e Armazenagem - Capítulo 5.

1.4 Metodologia

A metodologia adoptada define não só os métodos utilizados na abordagem ao problema bem como a sequência com que estes métodos são aplicados.

Numa primeira fase referente ao estudo da Estação de Descarga e Armazenagem, procurou-se inicialmente conhecer e compreender o funcionamento do sistema através da discussão com pessoal especializado e de visitas guiadas ao local. Uma vez recolhida a informação base acerca do sistema, procedeu-se a uma análise mais detalhada recorrendo à leitura da documentação existente

sobre o mesmo, nomeadamente, esquemas elétricos e esquemas P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*). A par disto foram ainda feitas várias consultas ao programa do sistema assim como às interfaces Homem-Máquina existentes.

Uma vez conhecida a estrutura e o modo de funcionamento do sistema, procedeu-se à idealização do plano de contingência, ou seja, que medidas poderiam vir a ser implementadas de forma a que paragem da Estação de Descarga e Armazenagem fosse sentida com o menor impacto possível. Sendo os Sistemas de Alimentação de Contingência uma das respostas encontradas à questão anterior e tendo em conta que estes sistemas se encontram atualmente inativos, foi elaborada uma abordagem para recuperação dos mesmos. Nesta abordagem incluiu-se o desenvolvimento de uma solução para a interface Homem-Máquina adequada a estes sistemas.

No que diz respeito à especificação técnica da plataforma de controlo, começou-se por fazer o levantamento do equipamento existente. Em seguida, e através da análise da informação recolhida foram estabelecidos os requisitos mínimos que o novo sistema de controlo deverá garantir ao nível do hardware. No sentido de auxiliar a adaptação da aplicação existente à nova plataforma de programação, recorreu-se à linguagem de modelação *Grafcet* para modelar o funcionamento da Estação de Descarga e Armazenagem.

1.5 Estrutura da Dissertação

A estruturação do documento é um ponto essencial na compreensão do mesmo, assim sendo houve um especial cuidado em apresentar os vários pontos de uma forma coerente e organizada. Como tal foram definidos seis capítulos, cada um com um diferente propósito no entanto sempre relacionados entre si. Eis os capítulos definidos:

- Capítulo 1, Introdução - Enquadramento, motivação, objetivos, metodologia e estrutura da dissertação.
- Capítulo 2, Descrição da Situação Existente - Descrição estrutural e funcional da Estação de Descarga e Armazenagem bem como dos sistemas diretamente relacionados com esta.
- Capítulo 3, Conhecimento Teórico - Abordagem de um conjunto de temas considerados uma mais valia para a compreensão do documento.
- Capítulo 4, Plano de Contingência - Discussão de possíveis medidas de contingência, com especial destaque para a recuperação dos Sistemas de Alimentação de Contingência.
- Capítulo 5, Migração da Plataforma de Controlo - Elaboração da especificação técnica para atualização do sistema de controlo referente à Estação de Descarga e Armazenagem.
- Capítulo 6, Conclusão - Comentários finais acerca do *upgrade* da Estação de Descarga e Armazenagem.

Capítulo 2

Enquadramento Teórico

Neste capítulo serão abordados um conjunto de temas cuja sua compreensão irá refletir-se numa consequente melhor percepção do projeto de dissertação.

2.1 Modelação Grafcet

O objetivo desta secção não passa por fazer uma descrição completa da linguagem de modelação *Grafcet*. Visa antes fazer uma abordagem mais particular às ferramentas do *Grafcet* que foram utilizadas neste projeto. Para uma consulta mais pormenorizada e ao mesmo tempo intuitiva da linguagem de modelação é aconselhada a consulta do artigo [18].

A linguagem de modelação *Grafcet* encontra-se presente em duas fases da dissertação, nomeadamente:

- Na modelação dos Sistemas de Alimentação de Contingência (ver secção 4.2).
- Na modelação da Estação de Descarga e Armazenagem 1A (ver secção 5.3)

Os modelos que foram apresentados nas várias fases são em geral simples e recorrem às ferramentas base da linguagem.

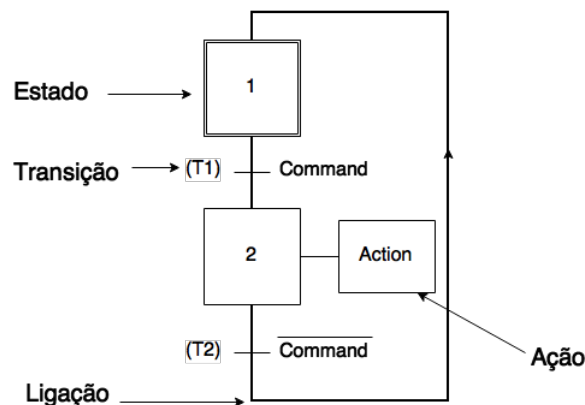


Figura 2.1: *Grafcet* exemplo 1

2.1.1 Elementos básicos

Os modelos *Grafcet* são gráficos compostos por etapas e transições, dispostos alternadamente, e que se encontram conectados através de ligações. Por sua vez as etapas podem conter ações. Observe o exemplo da figura 2.1.

- *Etapas*, estado do sistema, ou de um dos seus subsistemas. Esta pode encontrar-se ativa ou inativa. O conjunto de estados ativos representam a atual situação do sistema.
- *Transição*, evolução entre dois estados. Uma transição é ativada quando a condição lógica a esta associada toma o valor lógico *True*.
- *Ligação*, utilizada para conectar etapas a transições e vice-versa.
- *Ação*, ordem a executar quando a etapa correspondente estiver ativa.

De notar que etapa (1) ao contrário da etapa (2) tem a particularidade de ser considerada uma etapa inicial, dada a sua representação ser feita com linha dupla. Este tipo de etapas são as etapas que se encontram inicialmente ativas.

2.1.2 *Gracets* hierárquicos

Um sistema não necessita obrigatoriamente de ser modelado por apenas por um *Grafcet*. Na verdade, a modelação de um sistema muitas das vezes torna-se bastante mais simples quando se recorre a múltiplos *Gracets*. No entanto, acontece que nestes casos em que são utilizados múltiplos *Gracets* existe a necessidade de relacioná-los entre si. Para isso a linguagem *Grafcet* disponibiliza um conjunto de mecanismos que permite a partir de um determinado *Grafcet* influenciar a evolução de um outro *Grafcet*.

Uma vez que os modelos apresentados na dissertação são constituídos por inúmeros *Gracets* houve a necessidade de recorrer a um dos mecanismos referidos, as *enclosures*. Esta ferramenta permite inserir numa determinada etapa (A1) do *Grafcet A* um outro *Grafcet B*. Assim sendo quando a etapa (A1) é ativada, existe uma etapa (B1) do *Grafcet B* distinguido com um *activation link* que irá também ser ativado. Note que apenas as etapas do *Grafcet B* identificadas com o *activation link* é que serão ativadas. O *activation link* é identificado como sendo um asterisco do lado esquerdo da etapa. Qualquer etapa, neste caso a etapa (A1) que contenha um *Grafcet* subsequente deverá ser representada com um octógono (ver figura 2.2, etapa (2)).

Enquanto a etapa (A1) se mantiver ativa, o *Grafcet B* poderá evoluir normalmente. Assim que a etapa (A1) é desativada, todos os *Gracets* que se encontram inseridos nesta são automaticamente desativados independentemente da etapa em que se encontrem.

Assim como a etapa (A1) contém o *Grafcet B*, também as etapas referentes ao *Grafcet B* podem conter outros *Gracets* e assim consecutivamente. Esta característica permite criar de certa forma uma hierarquia entre os vários *Gracets* envolvidos.

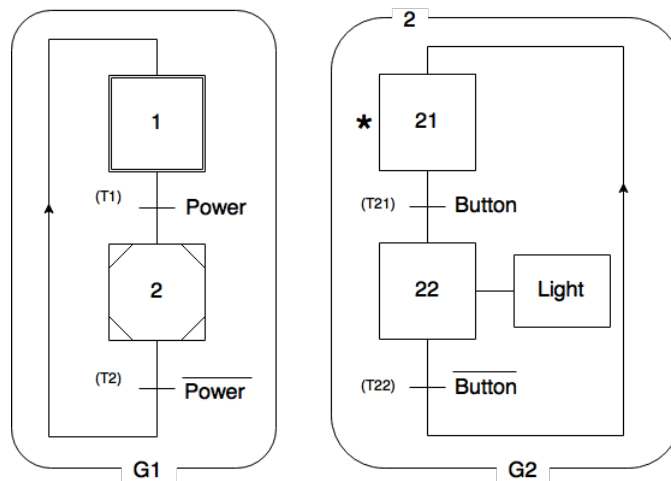


Figura 2.2: Grafcet exemplo 2

Vejamos o exemplo da figura 2.2. Este constitui um modelo muito simples que poderá dizer respeito ao funcionamento de uma simples lâmpada. No momento inicial ($t = 0s$) apenas a etapa (1) se encontra ativa, ou seja, o sistema não se encontra alimentado. De modo a acender a lâmpada é necessário em primeiro lugar que o Grafcet G1 transite para a etapa (2). Para isso é necessário que alimentação do sistema seja ativada. Uma vez ativada alimentação, a etapa (2) passa a estar ativa, ao mesmo tempo verifica-se a ativação da etapa (21) pois o Grafcet G2 encontra-se inserido na etapa (2). Neste momento já nos encontramos em condições de ativar a lâmpada através da pressão de um botão, neste caso. Contudo caso a alimentação do sistema seja desligada, o Grafcet G2 é desativado e consequentemente lâmpada deixa de estar iluminada.

Neste caso o Grafcet G1 encontra-se num nível hierárquico superior pois pode influenciar a evolução do Grafcet G2, já o contrário não se sucede. Note ainda que os Grafcets que se encontram inseridos em etapas, possuem no canto superior esquerdo do gráfico a identificação da etapa em que foram invocados.

Foram abordadas aqui as principais ideias a reter para a compreensão dos modelos apresentados ao longo da dissertação.

2.2 Interface Homem-Máquina

Nesta curta abordagem pretende-se fazer uma introdução às interfaces Homem-Máquina, também conhecidas por HMI (*Human-Machine Interface*), esclarecendo em que consistem estes elementos e quais são os seus principais objetivos.

2.2.1 Objetivo

De uma forma simples pode-se afirmar que a interface Homem-Máquina é o espaço onde ocorrem as interações entre o Homem e a Máquina. Os principais objetivos desta interação passa

por permitir ao operador ter uma interface com o processo que permita monitorizar, recolher/obter dados sobre o processo, e supervisionar, executar ações sobre o processo.

2.2.2 Plataformas

Atualmente as interfaces Homem-Máquina podem ser encontradas em vários tipos de plataformas, nomeadamente:

- *Painéis de Controlo*

Interface constituída essencialmente por interruptores mecânicos e por luzes indicadores. Ideais para situações onde a troca de informação entre o utilizador e o sistema de controlo é reduzida e baseada em sinais/acções discretas.

- *Consolas Industriais*

Interfaces avançadas que permitem ao operador interagir com o processo de uma forma mais completa. Estas disponibilizam funções como a gestão de alarmes, armazenamento de dados, processamento de dados, acesso autorizado às informações, páginas distintas de interface e exibição de informação sob a forma de gráficos.

- *PC Industrial*

Muito semelhante a um PC comercial, no entanto apresenta características especiais, sobretudo ao nível da protecção, que lhe permitem adaptar mais facilmente ao ambiente industrial. Estes executam um sistema operativo que lhes permite ter uma interface gráfica com o utilizador.

- *Dispositivos Web*

A interface com o utilizador ocorre através de um *browser* e encontram-se normalmente alojados em PCs ou PLCs.

2.2.3 Qualidade da Interface

A qualidade de uma interface pode ser medida pela facilidade com que o operador deteta e entende um evento e com a eficácia com que responde ao mesmo. Assim sendo existe um conjunto de características que a interface deverá procurar garantir. Eis algumas destas características:

- Clara, deverá apresentar uma disposição simples e intuitiva evitando ambiguidades entre os seus elementos.
- Concisa, deverá apresentar apenas os elementos essenciais para a compreensão do processo.
- Familiar, deverá sempre que possível recorrer a termos e conceitos que sejam do quotidiano do utilizador.
- Boa capacidade de resposta, deverá proporcionar um *feedback* completo acerca do que está acontecer no processo.
- Consistente, deverá permitir ao utilizador identificar padrões de utilização nos seus elementos, levando assim a uma mais fácil aprendizagem da interface.

- Boa aparência, deverá apresentar um *design* agradável e ergonómico de modo a proporcionar uma melhor experiência ao utilizador.
- Eficiente, deverá possibilitar ao utilizador uma rápida reação ao processo promovendo para isso a utilização de atalhos e de um *design* intuitivo.
- De fácil recuperação, deverá prever a ocorrência de eventuais erros apresentando prontamente formas de reverter.

Todas estas características deverão ser tidas em conta quando se está a desenvolver uma interface Homem-Máquina. Para além destas, existem também um conjunto de boas práticas estipuladas para o desenvolvimento de HMIs. No contexto deste projeto, recorreu-se às *guidelines* estabelecidas pelo *ASM Consortium* [3] de forma a guiar o processo de desenvolvimento do HMI especificado em anexo A.1.

2.2.4 Código de Cores

A utilização da cor assume também um papel de elevada relevância nas interfaces Homem-Máquina. As cores utilizadas bem como as combinações adoptadas para estas deverão ser devidamente ponderadas uma vez que estas podem fazer a diferença entre um HMI bem concebido e um HMI mal concebido. Existe já um acordo sólido a nível industrial relativamente ao significado de um conjunto de cores. A tabela 2.1 apresenta o significado de um conjunto de cores quando aplicadas em indicadores luminosos a nível industrial.

Tabela 2.1: Código de cores para indicadores luminosos e respectivo significado tendo em conta a condição da máquina

Cor	Significado	Descrição	Ação do Operador
Vermelho	Emergência	Condição perigosa	Ação imediata de forma a lidar situação crítica
Amarelo	Anormal	Condição anormal, estado crítico iminente	Monitorização e/ou intervenção
Verde	Normal	Condição normal	Opcional
Azul	Mandatário	Indicação de uma condição que requer a ação do operador	Ação mandatária
Branco	Neutral	Outras aplicações; poderá ser usada quando existir dúvida na cor a aplicar	Monitorização

Nas figuras 2.3 e 2.4 encontram-se representadas um mau e um bom exemplo da utilização da cor num HMI, respectivamente.

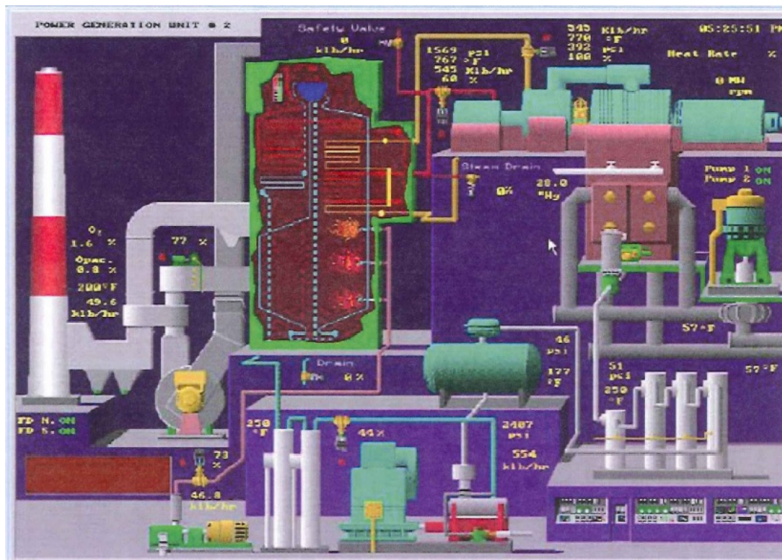


Figura 2.3: Mau exemplo da utilização da cor num HMI

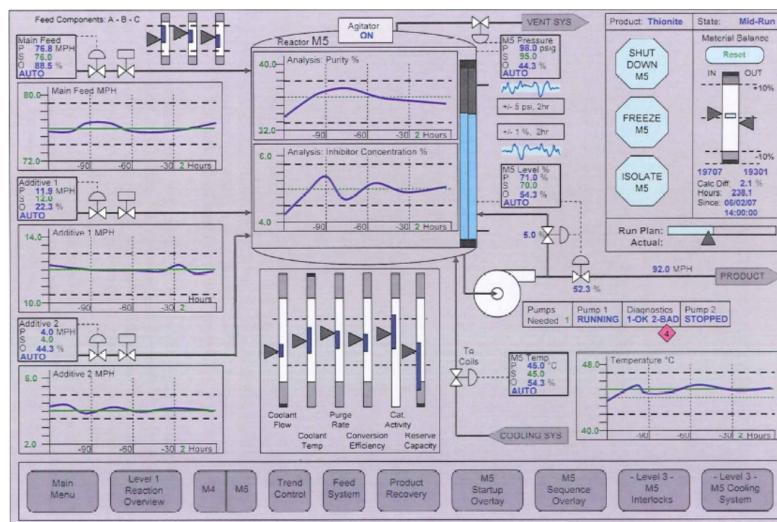


Figura 2.4: Bom exemplo da utilização da cor num HMI

2.3 PLCs e IPCs

Esta secção visa fazer uma comparação entre os dois tipos de controladores mais conhecidos ao nível da automação industrial, o PLC (*Programmable Logic Controller*) e o IPC (*Industrial PC*).

2.3.1 Aspetos Gerais

O PLC é um sistema computacional, programável, especialmente otimizado para tarefas de controlo de processos industriais. Devido à sua função, este encontra-se normalmente exposto a

ambientes industriais rigorosos com níveis elevados de interferência eletromagnética, contaminação e vibração.

Assim sendo este tipo de controlador teve a necessidade de evoluir no sentido de se tornar cada vez mais robusto e com um desempenho mais consistente. Com o passar do tempo este foi adoptando também novas funcionalidades como é o caso do controlo em movimento, controlo PID (*Proportional-Integral-Derivative*), e também algumas características dos PCs, ligação em rede e *web server*.

Os PCs começaram a ser utilizados ao nível industrial com o objetivo de executarem cálculos complexos, medições, monitorização, ligação em rede da fábrica e também para servirem de interface Homem-Máquina aos PLCs. Normalmente estes encontravam-se alojados em locais fora do ambiente industrial (ex. salas de controlo), pois estes eram incapazes de funcionar com o mesmo nível de fiabilidade que os PLCs.

De forma a suprimir estas fragilidades, os PCs industriais tem evoluído no sentido de adquirirem algumas das características dos PLCs, mantendo no entanto as suas capacidades de processamento. Posto isto tem se verificado um aumento constante da sua robustez permitindo que estes operem em ambientes industriais difíceis onde apenas os PLCs operavam. Também a adaptação de um sistema operativo de tempo-real aos PCs industriais fez com que estes fossem capazes de suportar algoritmos de controlo e tarefas mais críticas.

2.3.2 Comparação Técnica

Em seguida serão analisadas e comparadas alguns aspectos que permitem diferenciar estas duas tecnologias. Os aspectos considerados são os seguintes:

- Operação
- Robustez
- Facilidade de Manutenção
- Integração do Hardware
- Segurança dos Dados
- Segurança dos Operadores
- Programação

Operação Ao analisar a operação dos sistemas, é necessário ter em atenção como é que estes executam e como é que as intruções e tarefas são processadas. O PLC standard está provido de um RTOS (*Real-Time Operating System*) com um processador dedicado, que garante um nível elevado de fiabilidade ao controlo do sistema. Além disso os PLCs apenas se tem que preocupar com o controlo do processo, uma vez que estes não necessitam de correr outras aplicações, como é o caso do antivírus ou das atualizações do sistemas.

Um PC que possua um RTOS é capaz de apresentar o mesmo nível de fiabilidade que um PLC. Contudo, os PCs encontram-se negativamente associados à ocorrência de bloqueios (também conhecidos por *blue screens*), que por sua vez se devem à má gestão das prioridades das tarefas. Note, no entanto que qualquer sistema operativo se encontra exposto a este tipo de inconveniente, até os PLCs ainda que a probabilidade seja menor.

Robustez Esta característica diz respeito à durabilidade do controlador nos mais variados ambientes. Ao contrário dos PLCs que não possuem partes móveis, os PCs podem conter algumas partes que não são fixas, como é o caso da ventilação e do disco rígido. A existência de partes móveis no controlador torna-o menos apto a ambientes com níveis de vibração elevados. Contudo, existem já PCs industriais que permitem substituir estas partes móveis por partes fixas equivalentes. A adopção destes extras tornam os PCs industriais tão robustos como os PLCs.

Facilidade e Custo de Manutenção Outro fator a ter em consideração é a facilidade e custo de manutenção que o controlador implica. Um PLC permite com facilidade substituir um módulo externo sem parar a operação do sistema. Além disso, o modo como se encontra concebido o PLC modular facilita bastante a substituição do próprio controlador. Isto permite poupar dinheiro visto que diminui o tempo de paragem do sistema.

Um PC permite também fazer a substituição dos seus componentes sem parar o sistema, caso estes se encontrem conectados via USB ou então sejam equipamentos periféricos. Os PCs possuem também a desvantagem em relação aos PLCs de ser mais complicado achar partes para estes. Tal deve-se ao facto de presenciarem constantes mudanças ao nível do seu hardware e firmware.

Integração do Hardware O PLC e o PC tem a capacidade de suportar uma grande variedade de redes de comunicação industrial, é o caso da SERCOS, Profibus, DeviceNet, e CANbus, assim como as respetivas redes equivalentes baseadas em Ethernet, SERCOS III, Profinet, EtherNet/IP, e EtherCAT. Contudo, ao passo que o PLC em grande parte dos casos por si só já garante esta capacidade, o PC necessita de drivers adicionais para apresentar o mesmo nível de oferta. Por outro lado o PC encontra-se equipado de outras interfaces que o PLC não possui, é o caso do USB, serial e wireless Ethernet.

Segurança dos Dados Este possui dois aspectos principais: a prevenção do acesso não autorizado do mundo exterior (ex. vírus, malware, etc.) e a limitação do acesso do utilizador (ex. restrição dos direitos do utilizador, etc).

Tradicionalmente os PLCs encontram-se menos expostos ao mundo exterior devido ao seu sistema operativo dedicado. Contudo isto não significa que os PLCs sejam imunes aos vírus. Uma vez que estes possuem um passado com um número reduzido de ocorrências, não existem formas padronizadas de detetar e eliminar vírus nestes tipos de controladores. Embora o PC seja bastante mais susceptível a vírus, existem já medidas de segurança bem definidas que permitem diminuir as potenciais ameaças, assim como existe já software próprio para detetar e remover vírus.

Segurança dos Operadores Dependendo do tipo de ambiente em que o sistema se encontra a operar, a segurança do pessoal poderá ser ser um aspecto mais ou menos relevante. Os PLCs possuem já uma longa presença na automação industrial, o que levou à necessidade destes desenvolverem mecanismos de segurança integrados. O mesmo não se verifica com os PCs que ainda se apresentam bastante limitados em questões de segurança.

Programação Ao passo que os PLCs são programados usando as linguagens de programação especificadas na norma IEC61131-3 ou então recorrendo a linguagens próprias do fornecedor, os PCs podem recorrer a linguagens de programação como é o caso da linguagem C ou C++.

2.3.3 Comparação de Custos

Depois de analisarmos os requisitos técnicos dos controladores, existe um aspecto também muito importante a considerar na escolha do controlador: o custo. A maior parte das aplicações pode ser solucionada tanto por um PC como por um PLC, contudo para algumas destas aplicações, o preço poderá diferir significativamente. Em seguida é demonstrada a relação entre o custo do controlador e um conjunto de características, nomeadamente: a performance , a capacidade de expansão e o ambiente de operação em que se insere.

As figuras aqui apresentadas foram retiradas de um artigo disponibilizado pela Bosch Rexroth Corporation [4].

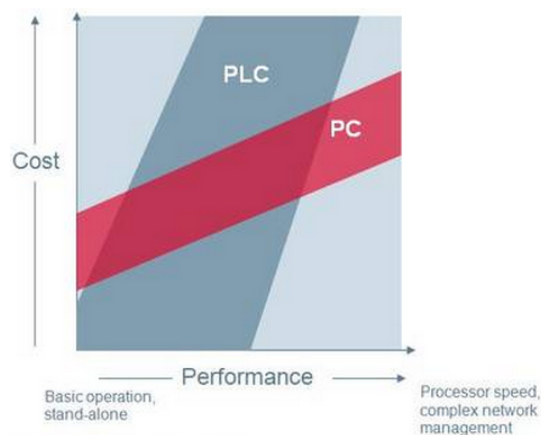


Figura 2.5: Performance vs Custo

Na figura 2.5 encontra-se representada a relação entre o nível de processamento requerido pela aplicação e o custo do controlador adequado a esse efeito. Para operações básicas, o PC revela-se uma solução mais cara que o PLC. No entanto à medida que a aplicação vai requerendo cada vez mais poder de processamento, a solução baseada num PC tende a tornar-se a melhor escolha. Assim quando uma aplicação requer grande poder de processamento, uma solução baseada num PC será em princípio mais económica que uma solução baseada num PLC.

A capacidade de expansão do controlador verifica-se no acréscimo de periféricos, no aumento do poder de processamento ou no aumento da memória. Na figura 2.6 encontra-se representada

a relação entre a expansão requerida para a aplicação e o custo do controlador adequado a esse efeito. Esta relação é muito semelhante àquela que se constatou para a performance. Quando não há necessidade de expandir o sistema, a solução baseada num PC revela-se mais cara que a solução baseada num PLC. À medida que a necessidade de expansão do sistema vai aumentando a solução baseada num PC vai se tornando a melhor opção.

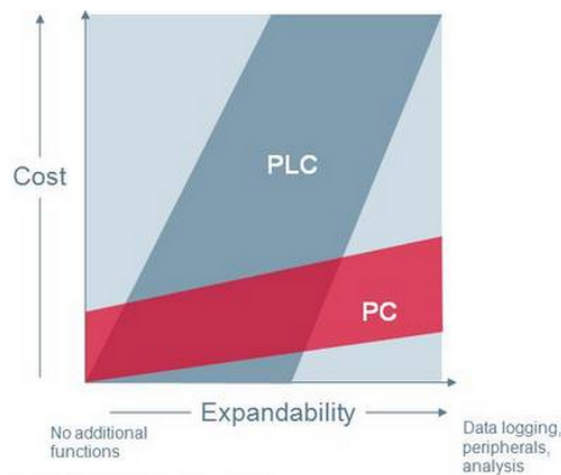


Figura 2.6: Capacidade de Expansão vs Custo

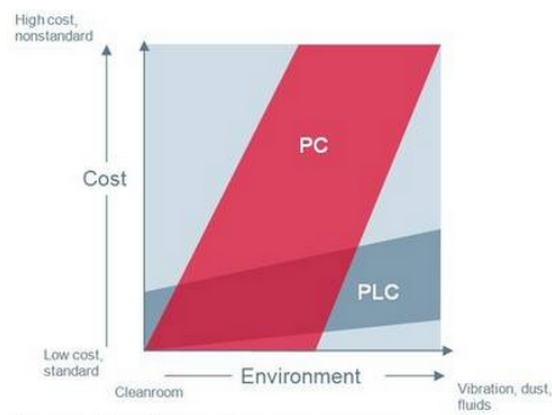


Figura 2.7: Ambiente de Operação vs Custo

Na figura 2.7 encontra-se representada a relação entre o tipo de ambiente em que o controlador deverá operar e o custo do controlador adequado a este meio. O PLC foi concebido com o intuito de suportar qualquer tipo de ambiente industrial, daí não ser surpresa que este apresente um custo menor que o PC para ambientes cujas condições são extremamente rigorosas. Por sua vez o PC revela-se uma escolha mais em conta quando o ambiente de operação destinado ao controlador passa por um local limpo e sem interferências.

Capítulo 3

Descrição da Situação Existente

Este capítulo tem como objetivo dar a conhecer detalhadamente a situação atual dos sistemas envolvidos.

Em primeiro lugar é necessário enquadrar o problema ao nível da situação existente. Como tal é conveniente começar por referir que a Estação de Descarga e Armazenagem de NF aqui em causa, trata-se de uma fase inicial de um sistema bem *maior* que é responsável pela produção de borracha que mais tarde irá ser usada na produção de pneus. Ora este sistema engloba todo o conjunto de processos necessários à produção de borracha. De facto são inúmeros os materiais envolvidos nestes processos, contudo existe um que se destaca, o Negro de Fumo, e é sobre os processos de descarga, armazenagem e transporte a este associados que nos iremos focar.

Como tal, e de forma a introduzir estes processos, começemos por observar na figura 3.1 uma representação simplificada dos sistemas associados ao Negro de Fumo. Nesta é possível distinguir desde logo a descarga do camião, seguida da tubagem que encaminha o material para os silos maiores, denominados silos mensais. A partir destes o material dirige-se até aos silos menores, conhecidos como silos diários. Para além destes existem outros elementos que se encontram representados mas que só irão ser abordados mais à frente.

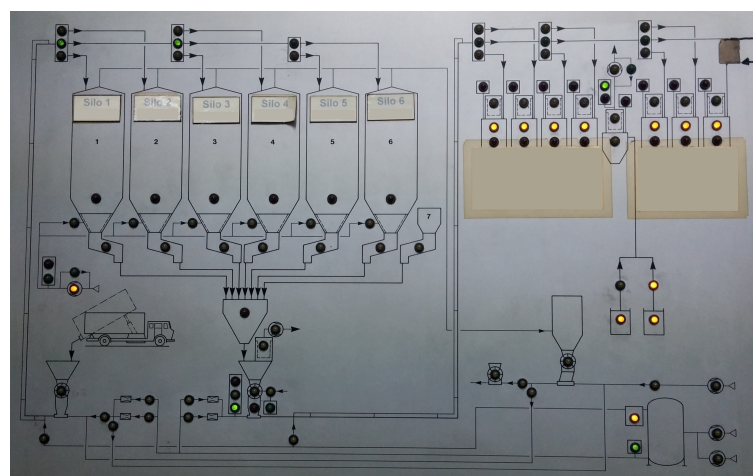


Figura 3.1: Sinóptico referente aos sistemas de descarga e transporte do NF

O sinóptico apresentado na figura 3.1 já se encontra fora de uso, não só porque atualmente todo o controlo e supervisão é feito através de computadores mas também porque o sistema representado deixou de transparecer a atual situação do sistema. Ainda assim a base mantém-se.

O sistema atual e completo associado ao NF é composto por muito mais do que aquilo que é exibido na figura 3.1. De modo a simplificar o sistema iremos dividi-lo em quatro subsistemas, nomeadamente dois sistemas de descarga e armazenagem, que englobam todo o processo desde a descarga do camião até ao armazenamento do material dentro dos silos mensais, e dois sistemas de transporte, que dizem respeito ao transporte do material desde os silos mensais até aos silos diários. No total existem dez silos mensais, que contém diferentes tipos de Negro de Fumo.

Iremos assumir portanto as seguintes designações daqui em diante:

- *Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1A*: Responsável por armazenar o NF nos silos mensais 1 a 8.
- *Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1B*: Responsável por armazenar o NF nos silos mensais 7 a 10.
- *Sistema de Transporte de NF 1*: Responsável pelo transporte do NF desde os silos mensais 1 a 6 até aos silos diários (*daybins*) referentes aos misturadores A, B, C e D.
- *Sistema de Transporte de NF 2*: Responsável pelo transporte do NF desde os silos mensais 6 a 10 até aos silos diários (*daybins*) referentes aos misturadores X, Y e Z.

Uma vez enquadrado o papel da Estação de Descarga e Armazenagem 1A no sistema geral, irá-se agora proceder à descrição individual de cada uma das partes que foram aqui distinguidas. Começemos então pela primeira fase, a descarga e armazenagem do NF. Note que as figuras exibidas ao longo deste capítulo foram editadas no sentido de retirar eventuais informações confidenciais da empresa.

Antes de prosseguir, é necessário esclarecer dois conceitos muito próprios destes sistemas, nomeadamente *daybin* e *big bag*. O conceito de *daybin* diz respeito aos tipos de silos de dimensões inferiores, quando comparados com os silos mensais, responsáveis pelo armazenamento intermédio do material logo antes de este ser introduzido nas linhas misturadoras. Estes são comumente conhecidos como silos de armazenamento diário. Quanto ao termo *big bag*, como o próprio nome indica refere-se a um saco de grandes dimensões utilizado muitas vezes para o transporte de NF e de outros componentes utilizados na produção da borracha.

3.1 Estações de Descarga e Armazenagem

O armazenamento do Negro de Fumo é feito recorrendo a duas estações praticamente independentes, a Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1A e 1B. Ambas as estações possuem uma estrutura e um modo de funcionamento muito semelhante, contudo existe uma discrepância significativa no que toca à idade dos equipamentos envolvidos em cada uma delas. A Estação

de Descarga e Armazenagem 1A é o sistema de descarga original, enquanto que a Estação 1B, com menor capacidade, foi concebida posteriormente no sentido de aumentar a capacidade de armazenamento de matéria prima mas mais importante que isso, criar uma alternativa à estação de descarga original.

A discrepância de idades existente entre as duas estações levou naturalmente a que a Estação de Descarga e Armazenagem 1B esteja provida de instalações e equipamentos mais sofisticados que aqueles que existem na Estação 1A. Claro está, e dado a obsolescência de grande parte dos equipamentos, a Estação 1A desde o seu projeto inicial até ao momento já sofreu inúmeras modificações. No entanto a parte que diz respeito ao controlo do sistema manteve-se praticamente inalterada.

Em termos de controlo, as EDA 1A e 1B estão ambas providas de autómatos Siemens devido à especificação da empresa em causa. Contudo, ao passo que a Estação 1B possui um modelo de autómatos atual, SIMATIC S7, a Estação 1A possui um modelo que já se encontra descontinuado, SIMATIC S5. É aqui que surge a base do problema que dá sentido a esta dissertação. Evidentemente que o facto da principal EDA estar dependente de um equipamento que se encontra obsoleto demonstra que existe alguma fragilidade quanto à robustez do processo. Assim numa eventual falha da EDA 1A existe uma probabilidade elevada de a EDA 1B ser incapaz de manter o modo normal de funcionamento.

De facto são inúmeras as consequências levantadas por esta lacuna. Na eventualidade de ser necessário fazer uma alteração ao nível da EDA 1A, e seja necessária a aquisição de novos componentes do modelo do autómato utilizado, por exemplo cartas de E/S. O que acontece é que a probabilidade de se obter o componente desejado é muito baixa, e nos poucos casos em que ainda é possível arranjar, este é extremamente caro.

Além disto há que ter em conta também as vantagens que o modelo SIMATIC S7 apresenta relativamente ao modelo precedente o SIMATIC S5. Estas encontram-se enumeradas no Capítulo 5. Neste momento apenas a EDA 1A possui o modelo SIMATIC S5 ao nível do controlador, de resto todos os outros já possuem versões atuais do SIMATIC S7. A tabela 3.1 apresenta os autómatos associados a cada um dos sistemas.

Tabela 3.1: Modelos dos autómatos referentes aos sistemas envolvidos

Sistema	Autómato (CPU)
EDA 1A	S5-115U CPU 942B
EDA 1B	IPC427C
ST 1	S7-300 CPU 317-2DP
ST 2	S7-400 CPU 414-2DP

Passemos agora à análise das Estações de Descarga e Armazenagem. Como já foi mencionado anteriormente, a EDA 1A e 1B são muito semelhantes no que toca ao modo de funcionamento. Assim sendo é possível dividir estas estações em quatro partes principais, sendo elas:

- Descarga de Camião/Big Bags
- Sistema de Transporte Pneumático
- Silos de Armazenamento Mensal
- Filtro Polícia

Cada uma das Estações é composta por estas quatro partes, no entanto no que diz respeito ao filtro polícia, este é partilhado por ambas as Estações. Em seguida é feita uma descrição funcional detalhada de ambas as estações.

3.1.1 Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1A

Para uma melhor percepção do funcionamento da EDA 1A, é sugerida a consulta da figura 3.2 à medida que é feita a descrição da mesma.

O sistema de descarga 1A inicia-se na boca de descarga de Negro Fumo. Esta encontra-se no solo e permite fazer a descarga do material seja através de camião seja por *big bags*. Normalmente a descarga é feita através de camião, apenas em casos excepcionais é que é feita a descarga por *big bags*. A plataforma de descarga está dotada de um acoplamento que vai permitir fazer a ligação entre o camião e a tubagem. Uma vez iniciado o processo de descarga o material proveniente da carga do camião entra na tubagem e cai para uma tremonha. Aí o material irá acumular-se até chegar a um determinado limite de nível estabelecido pela presença de um sensor de nível. Assim que atingido esse limite é ativada uma válvula borboleta, precedente à tremonha, que irá impedir a passagem de mais material para a tremonha. Caso não houvesse este tipo de controlo a tremonha ficaria de tal modo cheia que o material teria dificuldade em fluir. Para além disto existe ainda um filtro de ar no topo da tremonha que permite fazer evacuação do ar que é empurrado pelo material, evitando assim o aumento excessivo da pressão na tremonha.



Figura 3.2: Estação de Descarga e Armazenagem 1A

Logo que sai da tremonha o material é enviado para uma válvula rotativa. Esta é movida através de um motor trifásico, cuja velocidade deverá ser manualmente ajustada tendo em conta o tipo de Negro de Fumo que se encontra a ser descarregado. À medida que o material vai passando na tremonha este vai sendo espaçado e após sair da válvula rotativa este cai na tubagem e é transportado através do sistema de transporte pneumático até ao topo dos silos de armazenamento mensal onde irá ser depositado.

Durante este trajeto do material até aos silos de armazenamento mensal, nas tubagens existem injectores de ar que permitem espaçar o material tornando-o mais facilmente transportável. No que toca ao encaminhamento do material até ao silo alvo e tendo em conta o reaproveitamento das tubagens é utilizado um conjunto de válvulas seletoras de vias (*diverter valves*). Através das inúmeras combinações possíveis criadas pela comutação destas válvulas é possível abranger todos os silos mensais. Ou seja cada silo mensal irá ter uma configuração bem definida de como estas válvulas deverão estar dispostas.

Uma vez depositado nos silos, o nível de material é medido através de um sensor de nível contínuo *Levelflex*, espécie de cabo preso nas extremidades do silo e cuja medição é feita tendo em conta a alteração da resistência do cabo. Para além deste sensor de nível analógico existe ainda três detetores de material dentro dos silos, um detetor de mínimo, um detetor de máximo e um detetor de máximo máximo. O detetor de mínimo, disposto na parte inferior do silo, deteta quando a quantidade de material no silo chegou ao nível mínimo estabelecido, informando assim que este necessita de ser reabastecido e além disso interrompe um eventual transporte de material para os silos diários. O detetor de máximo deteta quando este atingiu um nível máximo estabelecido, e logo à partida o silo não poderá receber mais material para além daquele que já se encontra nas tubagens. Por último o detetor máximo máximo refere-se ao limite máximo absoluto que o silo pode armazenar material, a partir deste ponto o silo não está habilitado a receber mais material, nem sequer aquele que está contido nas tubagens.

À medida que é depositado material dentro dos silos há também introdução de ar proveniente das tubagens. A acumulação desse ar dentro do silo faz com que a pressão dentro do mesmo aumente, daí ser necessário evacuar esse ar de dentro dos silos. Para isso, existe um filtro de ar no topo de cada silo mensal que terá exatamente essa função, evacuar o ar retendo o Negro de Fumo dentro do silo.

Além destes filtros, existe ainda um filtro extra comum a todos os silos, o filtro polícia. Este é responsável por limpar a tubagem de saída de ar caso um dos outros filtros por algum motivo não filtre o Negro de Fumo. O material resultante da limpeza é armazenado num silo extra de pequenas dimensões e poderá eventualmente vir a ser reciclado.

Claro está que ao longo do processo descrito existem ainda inúmeros sensores que não chegaram a ser mencionados, como por exemplo sensores de pressão e temperatura, que são responsáveis por alertar o operador caso as condições normais de operação não estejam a ser cumpridas. Eventuais situações anormais detetadas por estes sensores podem levar à paragem do sistema.

3.1.2 Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1B

A Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1B é mais recente que a 1A, no entanto ao nível funcional apresenta-se muito semelhante a esta, como pode ser observado na figura 3.3. Dada esta semelhança entre as duas estações seria redundante estar aqui a descrever o funcionamento da estação 1B uma vez que o mesmo já foi feito para a estação 1A na subsecção 3.1.1. Assim sendo serão abordados apenas alguns aspectos que se achem relevantes.

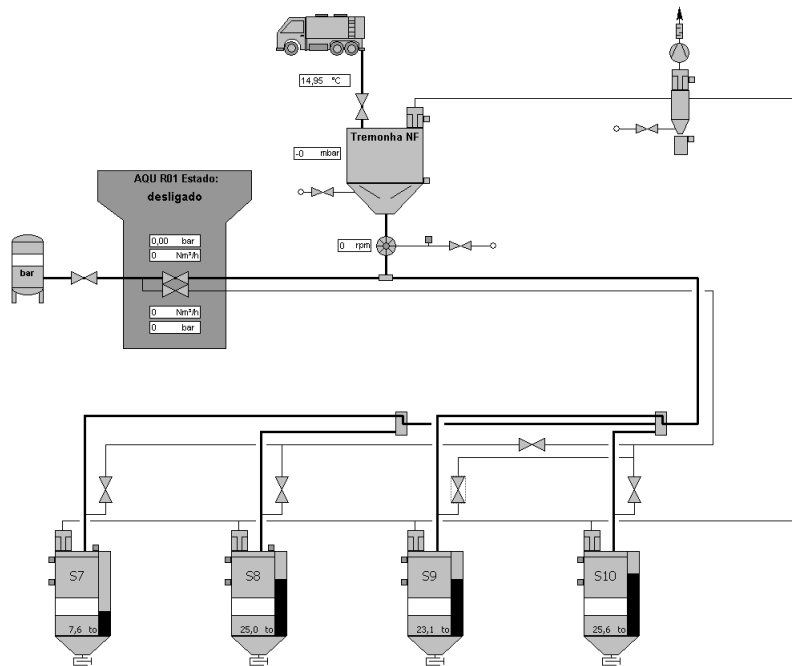


Figura 3.3: Estação de Descarga e Armazenagem 1B

Ao nível funcional, uma das diferenças mais destacáveis existentes entre as duas EDA passa por um *upgrade* existente na estação 1B referente à identificação do material proveniente do camião. Este *upgrade* consiste num sistema de leitura de código de barras que permite facilmente identificar o tipo de produto que está para ser descarregado. Na estação 1A o procedimento para iniciação do processo de descarga do material passava pelos seguintes passos:

1. O operador retira uma amostra do NF a descarregar.
2. A amostra é analisada pelo laboratório.
3. É emitido pelo laboratório um documento com o tipo de NF.
4. O operador insere o tipo de NF assim como o silo mensal de destino no SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) presente junto à plataforma de descarga.
5. O sistema verifica se a informação inserida é compatível. Caso isto se verifique a descarga é iniciada.

Na estação 1B, o procedimento é semelhante com a exceção do passo nº4. Ao invés do que acontece na EDA 1A, na estação 1B o operador irá inserir o tipo de NF no SCADA recorrendo ao leitor de código de barras. Note que o tipo de NF obtido pela leitura de código de barras deverá coincidir com o tipo de NF identificado pelo laboratório, caso contrário terá que ser averiguada a origem do erro. Este método de identificação permite diminuir a taxa de erros na identificação do tipo de NF a descarregar, diminuindo para isso a intervenção do operador.

Posto isto, está previsto que aquando do processo de *upgrade* do sistema de controlo relativo à EDA 1A seja também implementado nesta um sistema de código de barras semelhante para a identificação do produto a descarregar.

Ao nível do controlo, as estações estão dotadas de diferentes tipos de equipamentos, enquanto que a estação 1A é controlada através de um autómato Siemens SIMATIC S5 a estação 1B é controlada por um PC industrial. Os modelos respectivos podem ser observados na tabela 3.1.

Ao nível estrutural, a principal diferença entre as EDA passa pelo número de silos mensais cobertos. De facto, e como já foi possível observar, ambos os sistemas de descarga não cobrem todos os silos mensais. Ao passo que a EDA 1A cobre os silos 1 a 8, a EDA 1B cobre apenas os silos 7 a 10. O ideal seria que ambas as EDA pudessem abastecer a totalidade dos silos, pois numa eventual falha de uma das estações, a outra estação estaria completamente apta a substituir a atividade da anterior não havendo qualquer condicionamento.

A criação da EDA 1B surgiu como uma medida de prevenção à EDA 1A, daí o objetivo era que ambos os sistemas fossem independentes. Ou seja caso ocorresse uma falha numa das estações teríamos sempre a outra como medida de recurso. No entanto e como já foi afirmado no início da secção 3.1, as estações não são totalmente independentes. Assim sendo, podemos afirmar que existe uma certa dependência entre elas, que se prende com o facto de as duas estações partilharem dois silos entre si, nomeadamente o silo 7 e 8. Ora o que acontece é que os sinais recebidos pelo autómato da EDA 1B relativos ao topo dos silos 7 e 8 estão dependentes da alimentação elétrica da estação 1A. Isto significa que numa eventual falha da estação 1A, a estação 1B deixa de ter acesso a esses sinais e consequentemente os silos 7 e 8 passam a estar inutilizáveis. É de facto um inconveniente pois uma falha deste género leva a que EDA 1B fique apenas com os silos 9 e 10 disponíveis.

Estas duas limitações referentes à incompleta abrangência do silos mensais por parte das EDA, constituem aspectos importantes a reter. Estes terão que ser tidos em conta mais à frente, aquando do planeamento dos trabalhos para a migração do sistema de controlo da EDA 1A.

3.2 Sistemas de Transporte de NF

Vejam agora qual o propósito e como são constituídos os Sistemas de Transporte de NF.

Uma vez cumprida a função das Estações de Descarga e Armazenagem, o NF irá agora estar depositado por tipo dentro dos vários silos de armazenamento mensal. Acontece que dadas as grandes dimensões e outras condicionantes levantadas pelos silos mensais, foi necessário que as EDA fossem dispostas no exterior e a uma distância considerável das linhas de produção. Houve

portanto a necessidade de se criar um armazenamento local de NF junto às linhas de misturadoras de forma a evitar o constante transporte de NF desde os silos mensais até estas. O armazenamento local passa por um conjunto de silos diários de pequenas dimensões capazes de alimentar as linhas misturadoras por algumas horas. Este género de silos são também conhecidos por *daybins*, e assim como os silos mensais também estes estão aptos a armazenar apenas uma qualidade de NF.

O armazenamento de NF perto das linhas misturadoras levou conseqüentemente à criação de um sistema de transporte entre os silos mensais e os silos diários. É aqui que reside o propósito dos Sistemas de Transporte de NF.

O transporte entre os silos de armazenamento mensal e os silos diários está dividido em duas partes, o Sistema de Transporte 1 e 2.

- O ST 1 é responsável por transportar NF desde os silos mensais 1 a 6 para as linhas misturadoras A, B, C e D.
- O ST 2 é responsável por transportar NF desde os silos mensais 6 a 10 para as linhas misturadoras X, Y e Z.

Iremos agora abordar qo modo de funcionamento destes bem como as respetivas diferenças existentes entre os dois.

3.2.1 Sistemas de Transporte de NF 1

Para uma melhor percepção do ST 1, é recomendada a consulta sempre que necessária da figura 3.4.

Uma vez nos silos de armazenamento mensal, o material é retirado e transportado para os *daybins* por ordem do operador. Para tal o operador deverá seleccionar tanto o silo mensal de origem como o silo diário alvo. Óbvio será dizer que o transporte só ocorrerá caso os silos seleccionados sejam compatíveis no que toca ao tipo de NF.

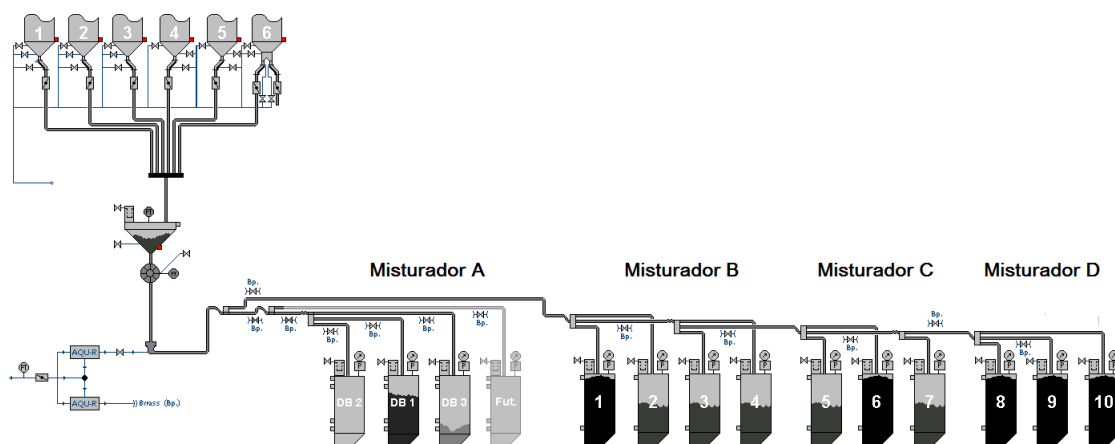


Figura 3.4: Sistema de Transporte 1

Assim que introduzida e validada a ordem de transporte, o NF é descarregado pela parte inferior dos silos através da abertura de uma válvula de descarga. Com o intuito de facilitar a descarga do material dos silos, foram instaladas junto à base do silo um conjunto de válvulas de fluidificação. Uma vez fora dos silos mensais, o material segue para um sistema de duas tremonha e duas válvulas rotativas, sistema esse que irá dosar o material tornando-o mais facilmente transportável.

Após sair da última válvula rotativa o material é transportado para os silos diários por ar comprimido. Assim como se sucede nos silos de armazenamento mensal, também no encaminhamento do NF para os silos diários são utilizadas válvulas seletoras de vias de forma a cobrir todos os possíveis destinos. De modo a evitar a aglomeração do material ao longo da tubagem, foram instaladas um conjunto de válvulas injetoras de ar que permitem espaçar o material.

Quanto aos *daybins*, estes podem ser encarados como sendo uma espécie de silos mensais mas neste caso em pequenas dimensões. Estes possuem igualmente um filtro de ar responsável por evacuar o ar derivado do transporte do NF e possuem também três detetores de níveis: mínimo, máximo e máximo máximo. Note que estes sinais de nível tem o mesmo propósito que os detetores equivalentes presentes nos silos mensais. Por outro lado os silos diários não estão providos de filtro polícia.

3.2.2 Sistemas de Transporte de NF 2

O sistema de transporte 2 é muito semelhante ao sistema de transporte 1, diferenciando apenas em dois aspectos principais. Primeiro, estes dois sistemas de transporte não possuem a mesma configuração de ligações, isto é, recolhem o material de diferentes silos mensais e alimentam diferentes linhas misturadoras.

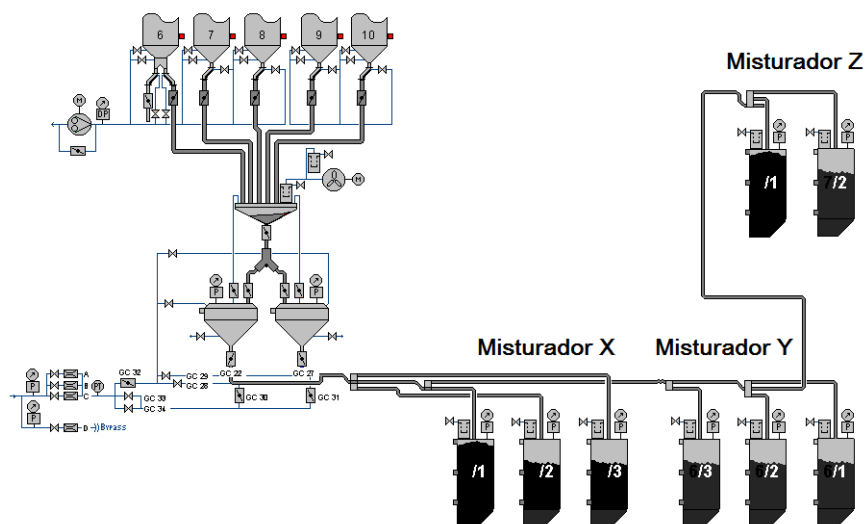


Figura 3.5: Sistema de Transporte 2

Segundo, o encaminhamento do material desde os silos mensais até à tubagem de transporte é feito de formas distintas. Enquanto que no sistema de transporte 1 o encaminhamento do material é

realizado recorrendo a um sistema de válvulas rotativas no sistema de transporte 2 este é realizado recorrendo a um par de tanques pressurizados. Neste último caso, o material é descarregado alternadamente para cada um dos tanques, ou seja, o que acontece é que enquanto uma está a ser carregada de material a outra encontra-se a despejar e vice-versa.

O restante processo é igual ao descrito para o ST 1, representado na figura [3.2.1](#).

Em conclusão, a figura [A.19](#), que se encontra em anexo, permite dar uma visão geral de como os sistemas aqui descritos se encontram interligados,

Capítulo 4

Plano de Contingência

Uma vez feita a descrição do sistema vigente bem como um breve enquadramento teórico, iremos agora proceder à discussão da primeira fase do processo de *upgrade* do sistema de controlo, o planeamento.

Como já foi referido, o projeto em causa não se resume a uma simples troca de controladores, na verdade envolve bem mais que isso. Em causa está a completa modernização da estação de descarga e armazenagem 1A, desde a renovação dos quadros elétricos até à substituição de grande parte dos componentes mecânicos envolvidos. Assim sendo é expectável que todo este processo de alteração implique uma quebra de funcionamento no sistema por um período de tempo considerável, condicionando assim o seu rendimento. Claro está, que uma paragem completa do sistema é de todo impensável dado os elevados custos que tal poderia significar.

De forma a minimizar os prejuízos inerentes é importante elaborar uma estratégia para abordagem do processo de *upgrade*, definindo prioridades e traçando opções alternativas ao normal funcionamento do sistema.

4.1 Estratégia

Analisemos agora mais ao pormenor o que é que irá envolver a atualização da Estação de Descarga e Armazenagem 1A.

Antes de mais e de forma a estruturar ideias, a atualização do sistema divide-se em duas componentes: a mecânica e a elétrica. Como é óbvio a componente mecânica do sistema não será aqui aprofundada, no entanto e só para que haja uma noção mais clara do que esta poderá implicar serão deixadas aqui algumas notas.

Resumidamente o principal objectivo ao nível mecânico passará por remodelar o Sistema de Descarga de NF 1A de forma a que este possua características semelhantes à Estação de Descarga e Armazenagem de NF 1B. Ora isto implicará substituir uma parte considerável dos componentes mecânicos envolvidos, seja a tremonha de descarga, a válvula rotativa, a tubagem, etc. Claro está e há que estar consciente que uma remodelação mecânica deste nível levará um período considerável de tempo a ser realizada.

Tabela 4.1: Trabalhos a realizar durante o processo de upgrade da EDA 1A

Upgrade Estação de Descarga e Armazenagem 1A	
Trabalhos Mecânicos	Trabalhos Elétricos
<ul style="list-style-type: none"> • Renovação dos componentes de descarga (tremonha, válvula rotativa e tubagem). • Recuperação do sistema de ar comprimido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Substituição integral dos equipamentos de controlo obsoletos. • Renovação dos quadros elétricos. • Eventual substituição de sensores.

Quanto à atualização da componente elétrica do sistema, esta passará pela substituição integral dos equipamentos de controlo da gama Siemens SIMATIC S5 por equipamentos de gama atual, Siemens SIMATIC S7, bem como pela renovação dos quadros elétricos referentes a este sistema. Os detalhes relativos à substituição dos equipamentos de controlo serão abordados no Capítulo 5.

Como é expectável, o conjunto de trabalhos necessários para o *upgrade* da EDA 1A irá implicar a suspensão da atividade do próprio sistema. Assim sendo é essencial criar um plano de alternativas que permitam substituir da melhor forma possível a estação em causa.

Como principal alternativa surge a Estação de Descarga e Armazenagem 1B. Embora esta estação tenha sido criada com o intuito de se introduzirem novos silos mensais e de aumentar a capacidade de descarga, esta poderá constituir uma alternativa à estação 1A. Por sua vez, a EDA 1B possui também algumas limitações que poderão eventualmente ser contornadas.

- Em primeiro lugar e como já foi discutido no Capítulo 3, a EDA 1B cobre apenas quatro dos dez silos mensais existentes. Tal facto condiciona desde logo a capacidade da estação de descarga, visto que apenas poderá ser abastecida uma pequena parte dos silos mensais existentes
- Em segundo lugar e como consequência do ponto anterior, surge um outro problema tão ou mais importante. Dado que a EDA 1B apenas permite abastecer os silos mensais 7, 8, 9 e 10, facilmente constatámos que nenhum dos silos mensais responsáveis por alimentar os misturadores A, B, C e D poderá ser abastecido durante o processo de atualização. Tal facto irá condicionar os misturadores mencionados ao material existente nos silos mensais e diários aquando da paragem da EDA 1A, tornando-se assim a parte mais susceptível de vir a parar devido à falta de matéria-prima.
- Em terceiro lugar, a EDA 1B apenas permite armazenar três dos cinco tipos de Negro de Fumo usados na produção de borracha, o que de certa forma irá também limitar a utilização de certos tipos de Negro de Fumo.

- Em quarto lugar, prende-se com o facto de a alimentação de alguns relés referentes aos silos mensais partilhados pela estação de descarga 1A e 1B. Nesses silos, nomeadamente o silo sete e o silo oito, existe a duplicação dos sinais dos sensores através de relés visto que estes sinais são usados por ambas as estações. No entanto, a alimentação dos contactos é feita a partir da alimentação referente à EDA 1A, o que irá condicionar a EDA 1B numa eventual falha de alimentação da outra estação. Num caso hipotético, se por algum motivo a alimentação relativa ao EDA 1A falhar, a EDA 1B será incapaz de identificar o estado dos sensores, o que poderá comprometer o funcionamento destes dois silos.

Estes são alguns dos inconvenientes que acabarão por surgir caso a EDA 1B atual venha a substituir a EDA 1A.

Certo é que estar dependente apenas da EDA 1B para o abastecimento dos silos mensais levaria a uma situação que seria totalmente insuportável. Por forma a contornar estes inconvenientes tem-se discutido a possibilidade de realizar certos investimentos que permitam no final do balanço minimizar os custos do projeto.

Como tal foi elaborado um plano de medidas a aplicar previamente ao processo de *upgrade* da Estação de Descarga e Armazenagem 1A. Fundamentalmente este plano passaria por duas medidas muito simples mas que por sua vez permitiriam solucionar uma grande parte dos inconvenientes, senão a totalidade.

A primeira e principal medida passaria como é expectável pela expansão da Estação de Descarga e Armazenagem 1B aos restantes silos de armazenamento mensal. Esta medida implicaria a implementação de três novos *diverters* bem como da tubagem necessária por forma a cobrir os restantes silos mensais.

Na figura 4.1, estão representados as Estações de Descarga e Armazenagem 1A, à esquerda, e a 1B, à direita. A azul está representada a tubagem e *diverters* necessários à expansão da estação 1B aos restantes silos.

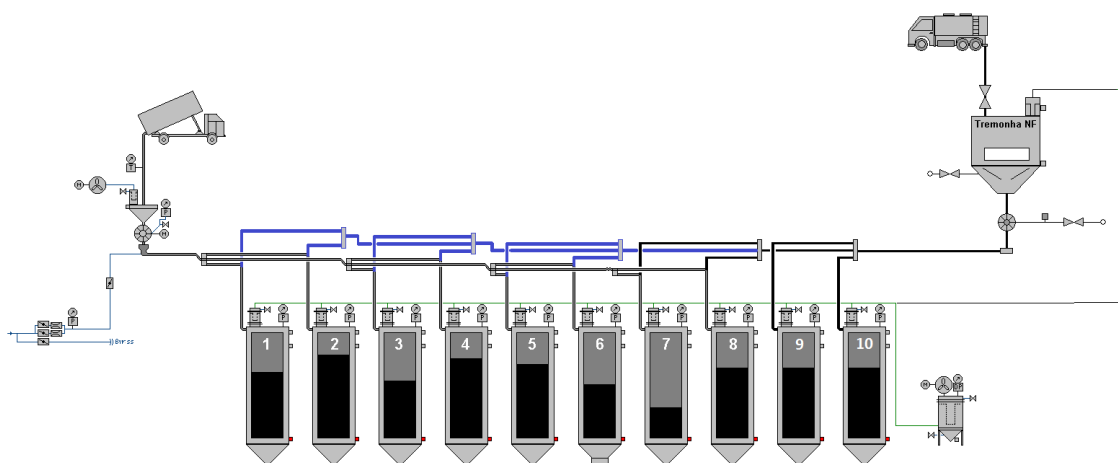


Figura 4.1: Esquema representativo da expansão da EDA 1B

A segunda medida passaria por uma alternativa ao abastecimento feito a partir dos silos mensais. Na verdade os Sistemas de Transporte não são a única forma de alimentar as linhas misturadoras. Para além destes, existem ainda dois Sistemas de Alimentação de Contingência, referentes a cada um dos sistemas de transporte, que permitem fazer o abastecimento direto dos silos de armazenamento diário através da descarga de *big bags* numa plataforma apropriada. Os Sistemas de Alimentação de Contingência foram projetados no seguimento de trabalhos anteriores feitos ao nível dos Sistemas de Transporte, com esse mesmo intuito de providenciarem matéria-prima aos silos diários. Posto isto, seria útil fazer o proveito destes dois sistemas de contingência. Assim sendo, numa eventualidade de não poder ser feito o abastecimento dos silos diários a partir dos silos mensais, os sistemas de alimentação de contingência seriam uma boa alternativa para manter, ainda que de forma limitada, o funcionamento das linhas de mistura. Embora estes dois sistemas já tenham sido utilizados no passado, é um facto que estes ainda não se encontram concluídos. Posto isto e de forma a garantir o correto funcionamento dos Sistemas de Alimentação de Contingência, está em vista a sua conclusão. Na secção 4.2 irá ser feita uma abordagem mais detalhada a estes sistemas bem como aos seus processos de conclusão.

A expansão da EDA 1B aos restantes silos mensais bem como a conclusão dos Sistemas de Alimentação de Contingência são as duas condições necessárias ao início do processo de *upgrade* da Estação de Descarga e Armazenagem 1A. Assim que ambas as condições sejam cumpridas será possível manter o abastecimento das linhas misturadoras sem que haja qualquer limitação. Teremos portanto uma alternativa sólida à Estação de Descarga e Armazenagem 1A.

4.2 Sistema de Alimentação de Contingência por *Big Bags*

Ao longo desta secção será feita uma abordagem aos sistemas de alimentação de contingência. Como já foi referido, estes sistemas auxiliares foram projetados no contexto de uma situação anterior em que foi necessário proceder à paragem do sistema de transporte para se proceder à alteração de componentes mecânicas. Nessa altura, o sistema de alimentação de contingência foi utilizado para fazer o abastecimento dos silos diários contudo este nunca chegou a ser devidamente concluído.

Actualmente ambos os sistemas de contingência encontram-se inativos. No entanto, e como primeiro passo a tomar no processo de atualização da estação de descarga, está previsto proceder-se à recuperação e conclusão dos sistemas de alimentação de contingência. Este constitui um passo crucial no planeamento dos trabalhos, uma vez que na eventualidade de se vir a verificar que não é possível fazer o abastecimento dos silos diários a partir dos silos mensais, este possa ser realizado recorrendo aos sistemas de alimentação de contingência.

4.2.1 Estrutura

Quanto à estrutura é possível afirmar que os sistemas de contingência são em tudo semelhantes, apresentando diferenças apenas no que toca ao encaminhamento do material para os silos diários. Por uma questão de distinção e clareza iremos assumir daqui em diante que o sistema de

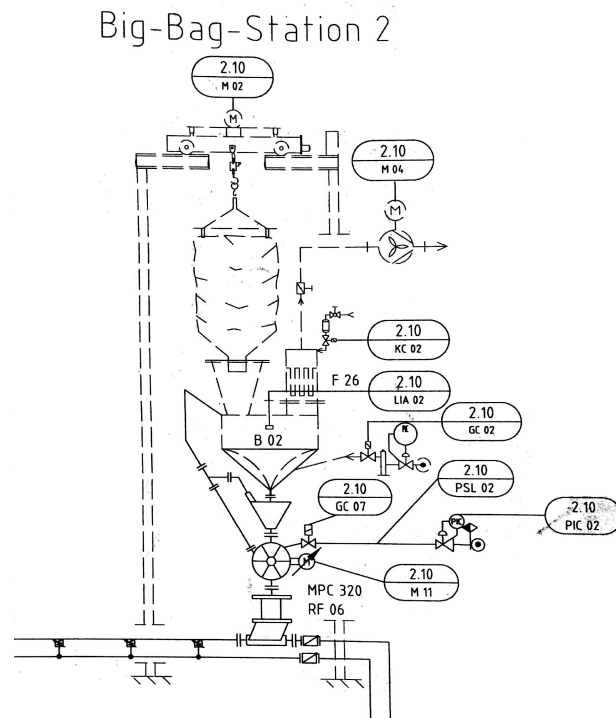


Figura 4.2: Sistema de Alimentação de Contingência 2

alimentação de contingência 1, SAC1, diz respeito ao sistema de transporte 1, ou seja, às linhas de misturação A, B, C e D. Por outro lado o sistema de alimentação de contingência 2, SAC2, diz respeito ao sistema de transporte 2, mais precisamente às linhas de misturação X, Y e Z. Na figura 4.2 encontra-se representado o sistema de alimentação de contingência 2.

A figura 4.2 não inclui a tubagem de encaminhamento no entanto esta será abordada e esquematizada mais à frente. De forma a ter uma noção mais clara da estrutura do sistema de contingência, são enumerados em seguida os principais equipamentos constituintes. Para além disto é feita ainda uma breve descrição dos mesmos.

1. *Guindaste* (M02), motor encarregue de elevar o *big bag* até à posição de descarga na tremonha.
2. *Aspiração* (M04), motor responsável pela a aspiração da tremonha.
3. *Filtro de ar* (KC02), filtro responsável pela evacuação do ar da tremonha.
4. *Sensor de nível baixo* (LIA02), sensor de nível mecânico responsável pela detecção de material a um determinado nível estabelecido da tremonha.
5. *Válvula de fluidificação* (GC02), válvula responsável por fluidificar a descarga do material na tremonha.
6. *Válvula de fluidificação* (GC07), válvula responsável por fluidificar a descarga do material na válvula rotativa.

7. *Manómetro* (PSL02), instrumento encarregue de medir a pressão existente dentro da válvula rotativa.
8. *Válvula rotativa* (M11), motor de velocidade variável que tem como objetivo a rotação da válvula rotativa.

As referências mencionadas na listagem dos equipamentos dizem respeito aos equipamentos utilizados no sistema de alimentação de contingência 2. Através destes é possível localizar os mesmos na figura 4.2. O sistema de contingência 1 é em tudo semelhante, como se irá confirmar mais à frente.

4.2.2 Comando e Sinalização

Actualmente, o comando dos sistemas de contingência bem como toda a sinalização a estes associada está presente num sinóptico junto ao próprio sistema de contingência. Por outro lado, não há qualquer tipo de controlo sobre estes sistemas a partir da visualização geral acessível na sala de controlo. Ou seja, tal facto irá implicar que o sistema seja obrigatoriamente controlado e monitorizado no próprio local, o que de certa forma constitui um inconveniente. Assim como a própria plataforma de descarga, também o sinóptico relativo aos sistemas de contingência é bastante intuitivo. O sinóptico pode ser visualizado na figura 4.3.

Como é possível observar na figura 4.3, o sinóptico referente ao sistema de contingência possui os seguintes comandos: um interruptor de alimentação geral, um comando de emergência, um selector de daybins, um comando para ativação da válvula rotativa, um botão de início de descarga, um botão de paragem do sistema e um botão para reconhecimento das falhas. Para além disto há ainda três leds para sinalização de big bag vazio, silo diário cheio e falha de pressão no silo diário. A função relativa à maior parte dos comandos é óbvia, contudo será feita uma breve descrição acerca de cada uma, na tabela 4.2.

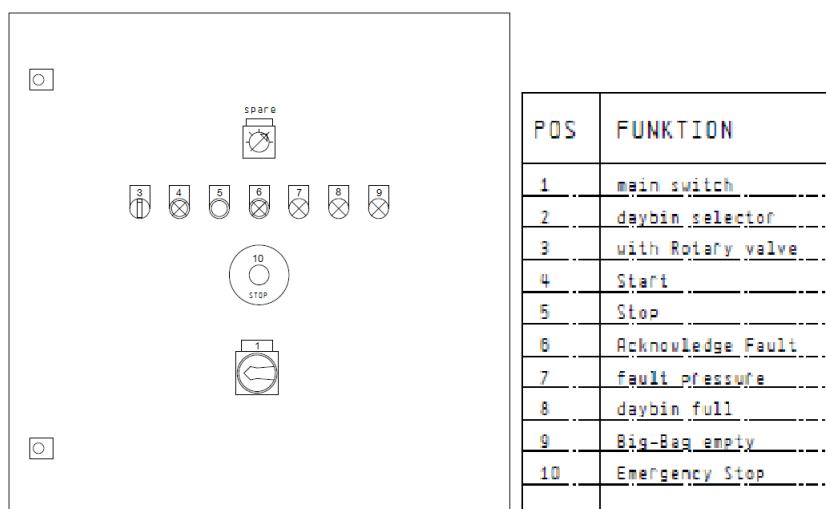


Figura 4.3: Sinóptico referente ao sistema de contingência e respectiva legenda

Tabela 4.2: Breve descrição dos sinais referentes à plataforma de descarga

Sinal	Função/Descrição
<i>main switch</i>	Permite ativar/desativar a alimentação dos equipamentos referentes à plataforma de alimentação de contingência. Este comando é apenas ativado com recurso a chave.
<i>daybin selector</i>	Permite ao utilizador indicar qual o silo diário que pretende abastecer. Isto é necessário pois o SAC terá que ter em conta o nível de material e pressão existente no silo diário. Caso estes atinjam os limites estabelecidos, o sistema de contingência terá que parar automaticamente a descarga do material.
<i>with Rotary Valve</i>	Permite iniciar a válvula rotativa sem ter que iniciar o processo de descarga. Este comando tem apenas propósitos de manutenção, como por exemplo a desobstrução da válvula rotativa.
<i>Start</i>	Dá início ao processo de descarga
<i>Stop</i>	Pára o processo de descarga
<i>Acknowledge Fault</i>	Informa o controlador que o operador já teve conhecimento das falhas até então registadas.
<i>fault pressure</i>	Indicação luminosa responsável por indicar a ultrapassagem do limite máximo estabelecido para a pressão no silo diário a abastecer.
<i>daybin full</i>	Indicação luminosa responsável por avisar o operador que a quantidade de material presente no silo diário que se encontra a ser abastecido já atingiu o limite máximo estabelecido. Tanto este como o sinal referente ao <i>fault pressure</i> são sinais provenientes do sistema de transporte respectivo.
<i>big bag empty</i>	Indicação luminosa responsável por informar o operador que o <i>big bag</i> introduzido para descarga se encontra-se vazio.

De notar que na figura 4.3, o selector que corresponderia ao comando *daybin selector* apresenta a etiqueta *spare* em vez de 2, como indica a legenda. O que acontece é que de facto este comando teria o propósito de permitir ao operador seleccionar o *daybin* a abastecer, no entanto esta funcionalidade nunca chegou a ser implementada ficando o comando inoperável. Este facto será abordado mais à frente na subsecção 4.2.4 relativa ao modo de funcionamento do sistema.

4.2.3 Equipamento de Controlo

Quanto ao controlo do Sistema de Alimentação de Contingência, existem três aspectos a sublinhar. Em primeiro lugar é importante desde logo referir o tipo de equipamento encarregue pelo controlo dos SAC. Cada uma das plataformas de contingência é controlada por um autómato compacto Siemens de baixa gama (SIMATIC S7-200) cuja referência Siemens é 6ES7214-1AD23-0XB0. Este tipo de autómato designa-se de compacto uma vez que este inclui a fonte de alimentação, o CPU e ainda um conjunto de entradas e saídas digitais (14 DI e 10 DO). No entanto dada a necessidade de um número superior de IOs foi necessário recorrer a dois módulos

extras, um de oito entradas digitais (6ES7221-1BF22-0XA0) e um outro de oito saídas digitais (6ES7222-1BF22-0XA0).

De facto, dada a baixa complexidade destes sistemas não se justificava a utilização de um autómato de alta performance. Contudo, aquando da restauração destes sistemas existe a forte possibilidade deste autómato vir a ser substituído por um módulo de entradas e saídas remotas, passando assim o sistema de contingência a ser controlado pelo autómato referente ao sistema de transporte correspondente.

Outro aspecto relevante prende-se com o facto dos SAC serem sistemas completamente independentes. A situação atual do sistema de controlo passa pela utilização de um autómato isolado dos restantes, isto é, sem qualquer tipo de comunicação com os outros autómatos. Isto implica que o controlo destas plataformas seja integralmente realizado a partir de sinais recolhidos diretamente pelo autómato em questão, não havendo por isso qualquer tipo de receção bem como envio de sinais para o exterior.

Quanto à sua localização, o autómato encontra-se protegido dentro de um quadro responsável pelo controlo do sistema de contingência junto à plataforma de descarga correspondente. Anexo a este quadro existe um outro quadro responsável pelo controlo de um conjunto de válvulas de desencravamento e *diverters* de duas vias. Este equipamento diz respeito à tubagem que foi necessária adicionar de forma a integrar o sistema de contingência no sistema de transporte normal.

As válvulas de desencravamento tem como objetivo facilitar o transporte do material ao longo da tubagem. Para que isto aconteça estas válvulas injetam ar em determinados pontos da tubagem de forma a criar espaçamentos entre o material. Já os *diverters*, através das suas diferentes configurações, tem por objetivo garantir o encaminhamento automático do material até ao *daybin* correto. Este tipo de válvulas designam-se de *two way diverters*, por permitirem a comutação entre duas vias possíveis. Facto é que este sistema nunca chegou a ser utilizado, embora esteja já praticamente instalado.

O controlo relativo a este sistema de transporte auxiliar está a cargo do autómato referente ao sistema de transporte principal. Assim sendo foi necessário recorrer a um módulo remoto de IOs para fazer a gestão dos sinais necessários.

Em seguida é feito um breve resumo dos sistemas que estão directamente relacionados com o SAC, e além disso é ainda possível observar na figura 4.4, a distribuição dos mesmos bem como o modelo de autómatos envolvidos.

- Linhas de Misturação A, B, C e D
 - Quadro BB1, referente ao controlo do sistema de alimentação de contingência 1.
 - Quadro KK12, referente ao controlo das válvulas e *diverters* envolvidos no transporte do material desde o sistema de alimentação de contingência 1 até ao sistema de transporte 1.
 - Quadro SS3, referente ao controlo do sistema de transporte 1.
- Linhas de Misturação X, Y e Z

- Quadro BB2, referente ao controlo do sistema de alimentação de contingência 2.
- Quadro KK11, referente ao controlo das válvulas e diverters envolvidos no transporte do material desde o sistema de alimentação de contingência 2 até ao sistema de transporte 2.
- Quadro SS2.2, referente ao controlo do sistema de transporte 2.

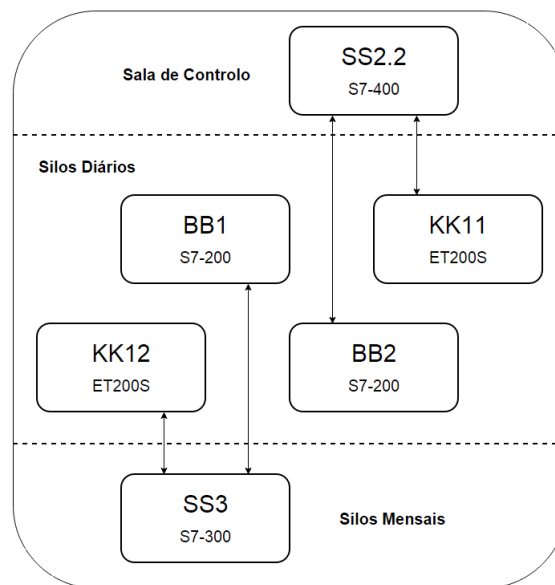


Figura 4.4: Distribuição dos elementos de controlo relacionados com o SAC

4.2.4 Procedimento Atual

Como já foi mencionado, os sistemas de contingência já chegaram a ser utilizados numa situação anterior, contudo o modo como estes operavam não é o que se pretende para o “novo” sistema. De facto, o procedimento realizado para efetuar a descarga de *big bags* recorrendo ao sistema de alimentação de contingência não era o mais eficiente. Para tal o operador teria que começar por adaptar a tubagem manualmente de forma a poder abastecer o silo diário desejado. Tal não aconteceria caso o sistema de diverters referido na subsecção 4.2.3 estivesse já implementado, e fosse possível através do sinóptico selecionar o *daybin* que se pretendia abastecer. Era precisamente este o objetivo do comando *daybin selector* que nunca chegou a ser implementado e que já foi abordado na subsecção 4.2.2.

Para além disto, era necessário ainda fazer a ligação dos sensor de pressão e de nível (máximo) do *daybin* alvo ao autómato responsável pelo controlo do SAC. Posto isto, recorria-se ao garibalde de forma a erguer o *big bag* até à posição de descarga, logo acima da tremonha. Concluídos os passos anteriores o operador estaria pronto para iniciar o processo através do sinóptico.

Uma vez iniciado o processo de descarga, o material é descarregado do *big bag*, cai na tremonha e em seguida dirige-se para a válvula rotativa. Assim que doseado, o material sai da válvula rotativa e cai na tubagem de transporte. Na tubagem o material é transportado para os silos diários

por ar comprimido. O processo é contínuo e só pára caso: seja dada a ordem de paragem por parte do operador; a pressão ou o nível do silo diário atinja o limite estabelecido; surja alguma falha num componente da plataforma de contingência; ou seja ativado o estado de emergência.

Para além dos processos referentes ao modo normal de funcionamento, existe ainda um comando extra, mencionado anteriormente na subsecção 4.2.2, que permite ativar a válvula rotativa de forma independente. Esta funcionalidade tem sobretudo propósitos de manutenção.

De forma a clarificar o funcionamento dos Sistemas de Alimentação de Contingência, procedeu-se à modelação dos mesmos recorrendo à linguagem de modelação Grafcet. Esta escolha deveu-se ao facto desta linguagem ser uma linguagem particularmente adaptada à modelação deste tipo de sistemas, estando definida na norma IEC60848.

Como possível solução, foram definidos quatro *Grafcets* com propósitos e níveis de hierarquia distintos. Os *Grafcets* criados são os seguintes:

1. *Grafcet* referente à alimentação.
2. *Grafcet* referente ao estado de emergência.
3. *Grafcet* referente à ativação independente da válvula rotativa.
4. *Grafcet* referente ao normal funcionamento.

De notar que, à excepção dos *Grafcets* referentes ao normal funcionamento e à ativação independente da válvula rotativa que possuem o mesmo nível hierárquico, os *Grafcets* foram listados segundo os níveis hierárquicos de forma decrescente.

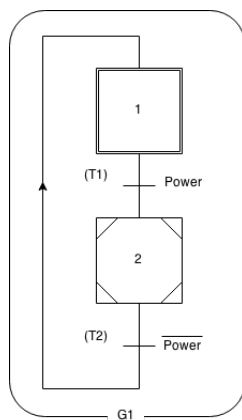


Figura 4.5: *Grafcet* referente à alimentação

Como *Grafcet* de maior prioridade temos o modelo referente à alimentação do SAC, representado na figura 4.5. Este constitui um modelo bastante simples, apresentando apenas dois estados, o estado inicial (1) em que o SAC se encontra sem alimentação e um segundo estado (2) com alimentação. O interruptor da alimentação é o responsável pela comutação entre os dois estados.

A hierarquia entre os diagramas é garantida devido a uma característica da linguagem *Grafcet*, os *enclosures*[18]. Esta particularidade permite num qualquer estado de um determinado modelo

Grafcet A ativar um novo modelo *Grafcet* B de nível hierárquico inferior. Por sua vez, o modelo B poderá também possuir modelos de hierarquia inferior a si. Tal verifica-se no *Grafcet* referente à alimentação, onde no estado em que o SAC está a ser alimentado, ocorre a ativação do *Grafcet* relativo ao estado de emergência do sistema. Assim sendo é fácil concluir que a máquina de estados que diz respeito ao estado de emergência do SAC estará dependente da alimentação do mesmo, uma vez que sem alimentação a plataforma nunca poderá entrar em estado de emergência.

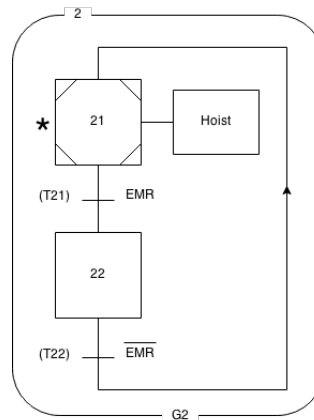


Figura 4.6: *Grafcet* referente ao estado de emergência

Imediatamente a seguir ao *Grafcet* da alimentação surge o *Grafcet* que diz respeito ao estado de emergência do SAC, representado na figura 4.6. Assim como o anterior, este é igualmente simples. Possui dois estados, sendo que um deles diz respeito ao funcionamento normal do SAC e o outro ao estado de emergência do mesmo. Aquando do estado normal de funcionamento, existe a invocação dos restantes *Grafcets*, figura 4.7 e 4.8, bem como a ativação do motor referente ao garibalde. Já no estado de emergência isto não acontece, pois o SAC encontra-se bloqueado até que seja dada a ordem para retomar o normal funcionamento do sistema.

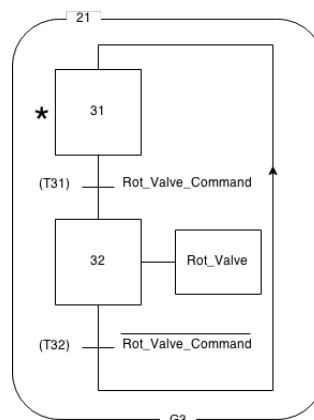


Figura 4.7: *Grafcet* referente à ativação independente da válvula rotativa

Com o nível mais baixo na hierarquia surgem os modelos referentes à ativação independente da válvula rotativa e ao normal funcionamento. Na figura 4.7 está representado o *Grafcet* que

possibilita a ativação da válvula rotativa sem ter que iniciar o processo normal de descarga descrito pelo modelo da figura 4.8. Igualmente simples, é constituído por um estado onde a válvula rotativa se encontra activa e um outro onde se verifica o contrário. A comutação entre estados é feita através de um interruptor dedicado a este efeito e que na subsecção 4.2.2 foi identificado como *with Rotary Valve*.

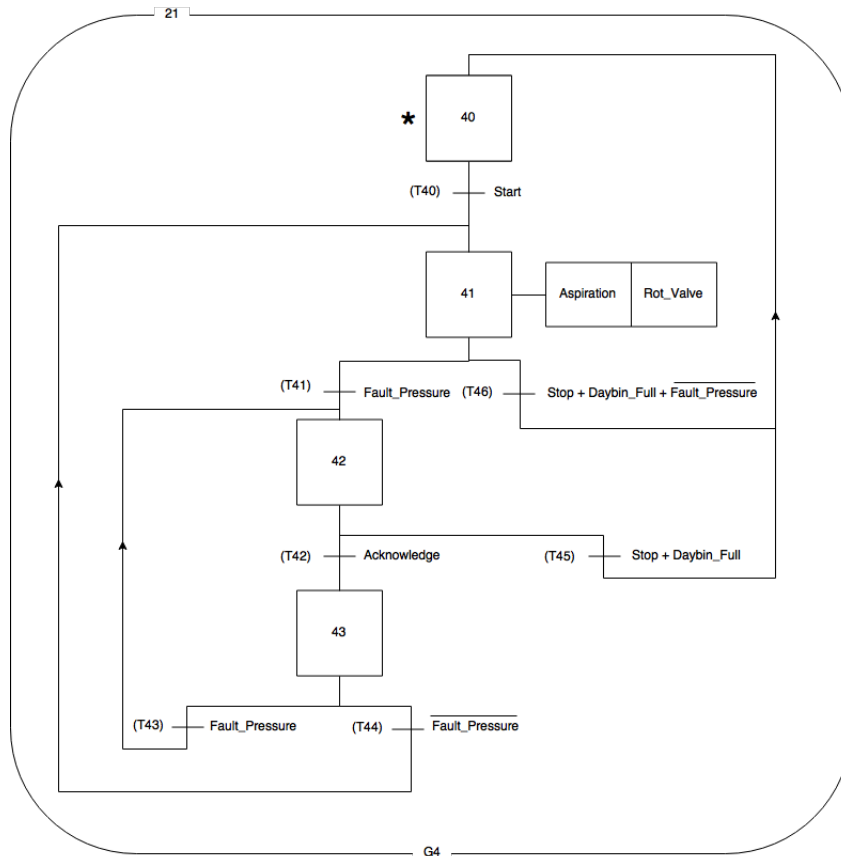


Figura 4.8: *Grafcet* referente ao normal funcionamento

Por último, na figura 4.8 está representado o *Grafcet* reponsável pelo normal funcionamento do SAC. Este diagrama descreve de uma forma esquemática o que já foi explicado relativamente ao funcionamento da plataforma de contingência. A partir de um estado inicial, onde o sistema se encontra parado, o sistema pode evoluir para o estado normal de funcionamento através da ocorrência do evento *Start*. Uma vez a operar o sistema pode parar por ordem do operador, *Stop*, ou então pela ocorrência dos sinais referentes aos silos diários, *daybin full* ou *fault pressure*.

Note que neste caso o SAC não verifica se o sistema de transporte a este associado se encontra pronto para iniciar a descarga. Esta responsabilidade recai sobre o operador.

4.2.5 Melhorias

Na subsecção 4.2.4 foi feita a atual descrição funcional dos Sistemas de Alimentação de Contingência. De facto, como podemos constatar o SAC atual possui vários aspectos que podem ser

trabalhados e melhorados de forma tornar este sistema mais eficiente. Como já foi referido anteriormente, previamente ao processo de upgrade do sistema de controlo está previsto fazer-se uma restauração dos SACs de forma a implementar certas funcionalidades. Nomeadamente:

- A integração do sistema de transporte automático do material desde a plataforma de contingência até à tubagem principal que alimenta os silos diários;
- A implementação do sistema de identificação do material por código de barras;
- A integração dos sistemas de alimentação de contingência na visualização geral (HMI) presente na sala de controlo.

4.2.5.1 Integração do sistema de transporte automático

A adaptação de um sistema de transporte automático desde a descarga na plataforma de contingência até à tubagem principal que vai alimentar os silos diários, constitui uma melhoria significativa na eficiência do sistema. Este sistema já se encontra fisicamente implementado, no entanto ainda não se encontra operacional. Com este, o operador deixará de ter que configurar manualmente a tubagem de transporte de material por forma a alimentar o silo diário pretendido. Assim conforme o silo diário a abastecer, este sistema, que faz a ligação à tubagem principal, irá configurar-se automaticamente através da comutação dos seus *diverters*. Para isso basta apenas ao operador indicar a linha de misturação que pretende alimentar.

Na verdade este sistema de transporte passa apenas por um conjunto de *diverters* de duas vias e válvulas de desencravamento. Os sistemas de transporte auxiliares ao SAC1 e ao SAC2 estão esquematizados nas figuras 4.9 e 4.10, respectivamente.

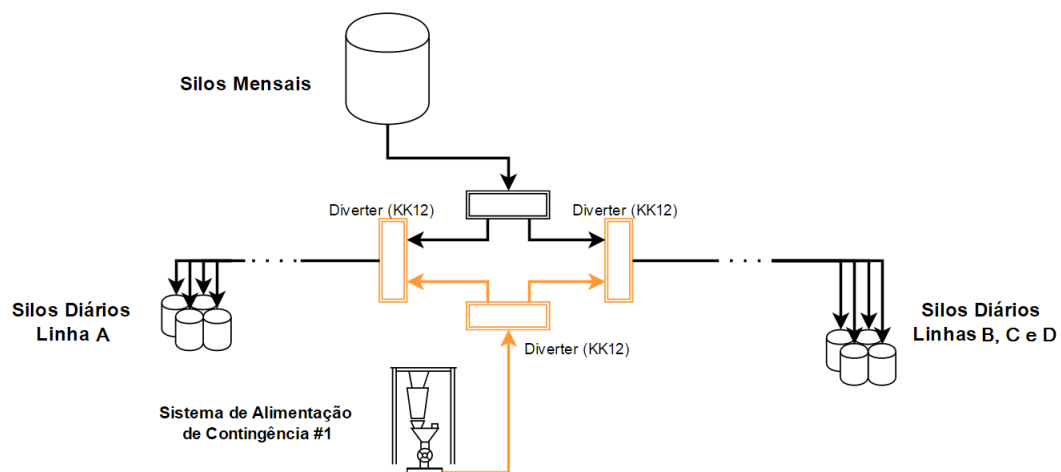


Figura 4.9: Sistema de transporte auxiliar ao SAC1

Como já havia sido referido, os SAC 1 e 2 são em tudo semelhantes, o mesmo não acontece com os sistemas de transporte auxiliares a estes. Apesar de possuírem o mesmo modo de funcionamento apresentam diferentes configurações, como é possível de observar comparando as

figuras 4.9 e 4.10. Entenda-se as setas/linhas da figura como sendo a tubagem e os retângulos como sendo os *diverters*. Os componentes abrangidos pelos sistemas de transporte auxiliares aos SAC estão representados a laranja.

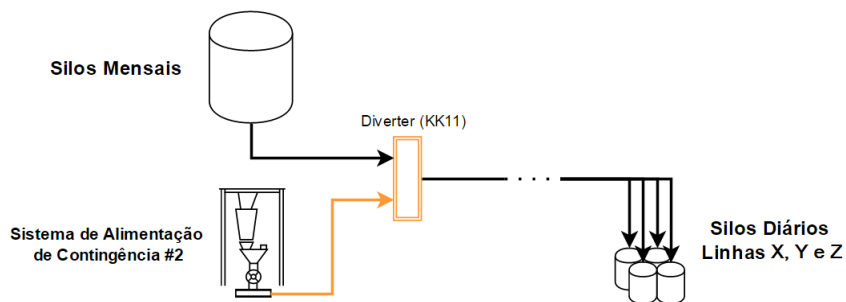


Figura 4.10: Sistema de transporte auxiliar ao SAC2

Enquanto que o sistema de transporte auxiliar ao SAC2 apresenta apenas um *diverter*, o sistema de transporte auxiliar ao SAC1 apresenta três. Isto deve-se ao facto da linha de misturação A se encontrar situada no lado oposto às restantes linhas de misturação cobertas pelo SAC1.

4.2.5.2 Implementação do sistema de identificação do material por código de barras

Um outro aspecto que será implementado aquando da restauração dos SAC, diz respeito à identificação do NF a partir da leitura de código de barras anexo ao *big bag*. Este método de identificação do material é mais uma medida para assegurar que o tipo de NF a descarregar seja abastecido num *daybin* compatível com este. Consequentemente levará a uma redução de eventuais erros que possam ocorrer na leitura dos dados. Isto revela-se um aspecto fundamental pois uma eventual falha deste género leva à inutilização completa do NF misturado.

Existem características importantes que deverão ser tidos em conta aquando da escolha do equipamento de identificação, nomeadamente:

- Ergonómico, deverá adequar-se às acções do operador.
- Portátil, de fácil manuseamento.
- Resistente, a ambientes industriais rigorosos caracterizados por inúmeras fugas de NF.
- Fácil manutenção.
- Simples e de fácil utilização.
- Robusto, quer ao nível de funcionamento como de longevidade do equipamento.
- Económico, o quanto for possível tendo em conta os restantes requisitos.
- Compatível, com o tipo de codificação usada.

De facto, a oferta de sistemas de identificação por código de barras é imensa e variada. No entanto se nos restringirmos à especificação da empresa verificámos que a nossa escolha fica mais limitada. Tendo em conta os requisitos ainda agora mencionados, o equipamento que cumpre a maior parte destes é o equipamento que possui a referência LS 3008-SR, cujo o fornecedor é a *Symbol*. Este caracteriza-se por ser a opção mais simples, mais ergonómica, mais económica, e ao mesmo tempo mais adequada ao trabalho que se exige. Para além disto este equipamento cobre ainda uma grande quantidade de codificações (UPC, EAN, Code 39, etc).

4.2.5.3 Integração dos SAC na visualização geral (HMI)

Como já foi abordado na subsecção 4.2.2, a situação atual dos SAC implica que o control destes seja feito recorrendo a um sinóptico que se encontra junto à plataforma. Além disto, é um facto que os SAC se encontram fora da visualização geral presente na sala de controlo. Ora este é um aspecto que se pretende alterar.

De facto a ausência dos sistemas de alimentação de contingência na visualização geral condiciona em vários aspectos o trabalho do operador, como por exemplo:

- Impossibilita o controlo e a monitorização do sistema a partir da sala de controlo. Implica portanto que o sistema seja controlado junto do mesmo.
- Não permite ter uma visão tão detalhada e intuitiva do sistema, pois a única interface que existe com o sistema é um sinóptico dotado apenas dos sinais mais básicos.
- Dificulta o enquadramento dos SAC nos restantes sistemas envolventes. O operador antes de iniciar o processo de descarga necessita ter a certeza que é seguro prosseguir com o este, pois poderá eventualmente interferir com outros processos que estejam a decorrer.

Assim sendo, tomou-se a iniciativa de se proceder à elaboração de uma possível especificação para a interface Homem-Máquina a introduzir na sala de controlo. Para já este tema não será mais desenvolvido, sendo que todo o processo de projeção do HMI será descrito e detalhado na seguinte secção 4.3.

4.2.5.4 Modelação

Assim como foi feito na subsecção 4.2.4, também aqui será proposta uma possível modelação *Grafcet* para o SAC, contendo já os upgrades que foram mencionados. Claro está que apenas os pontos 4.2.5.1 e 4.2.5.2 irão interferir com o funcionamento do SAC, uma vez que a integração do SAC na visualização geral não irá alterar em nada o modo como o sistema funciona. Ainda assim irá existir um aumento da complexidade ao nível da modelação, essencialmente no *Grafcet* que diz respeito ao normal funcionamento do SAC.

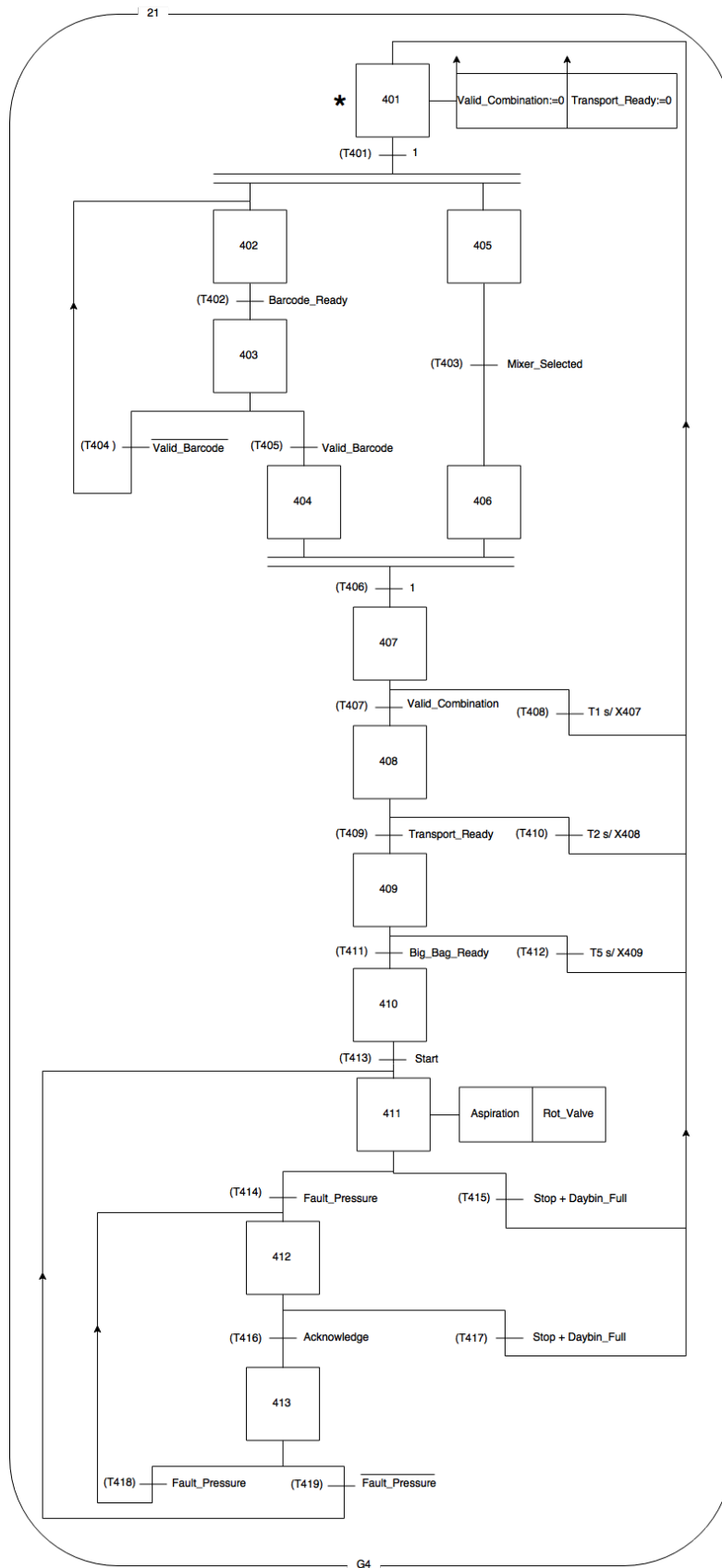


Figura 4.11: Grafcet referente ao normal funcionamento (atualizado)

Em primeiro lugar, os modelos que dizem respeito à alimentação e ao estado de emergência mantêm-se praticamente inalterados, havendo apenas uma pequena alteração neste último. Esta alteração passa apenas pela ativação de um *Grafcet* extra que diz respeito ao transporte automático do material. Este novo *Grafcet* é ativado durante o estado de normal funcionamento, assim como os restantes *Grafcets* já existentes de nível hierárquico mais baixo. Ora esta alteração não se traduz em qualquer tipo de mudança ao nível do *Grafcet* referente ao estado de emergência.

Na figura 4.11 está esquematizado o *Grafcet* referente ao novo funcionamento do SAC. É de notar que este resulta da extensão do *Grafcet* referente ao normal funcionamento que foi descrito na subsecção anterior, figura 4.8. De facto foi acrescentado a este um conjunto de estados iniciais que dizem respeito a um procedimento inicial necessário. Este procedimento caracteriza-se pela selecção da linha misturadora que se pretende abastecer, no estado 405, bem como a identificação do tipo de NF a descarregar recorrendo ao sistema de identificação por código de barras, no estado 403. Caso os dados introduzidos sejam compatíveis, ou seja, o tipo de NF identificado seja utilizado na linha misturadora indicada, o sistema avança para a configuração da tubagem de forma a alimentar o silo diário correto, estado 408. Na verdade, este procedimento inicial é repartido entre o *Grafcet* do normal funcionamento e o *Grafcet* que diz respeito ao transporte automático do material, representado na figura 4.12 e 4.13.

Note que os tempos (T1, T2, T3, etc) definidos nos *Grafcets*, 4.11, 4.12 e 4.13, não se encontram especificados. Estes só deverão ser dimensionados aquando da fase de testes.

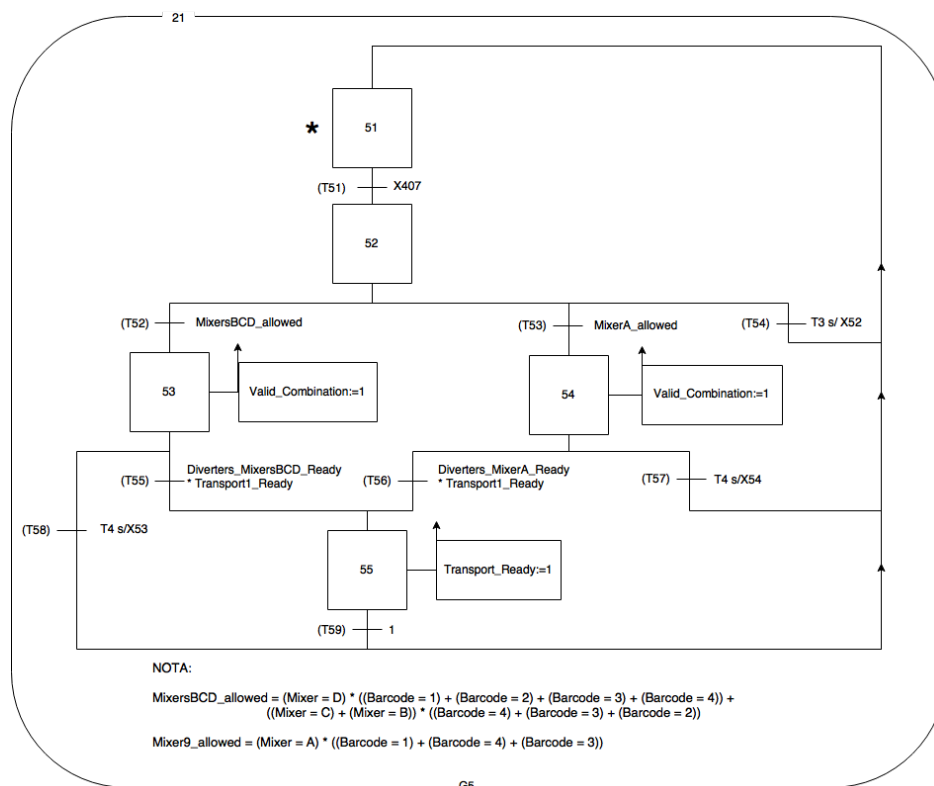


Figura 4.12: *Grafcet* referente ao transporte automático (SAC 1)

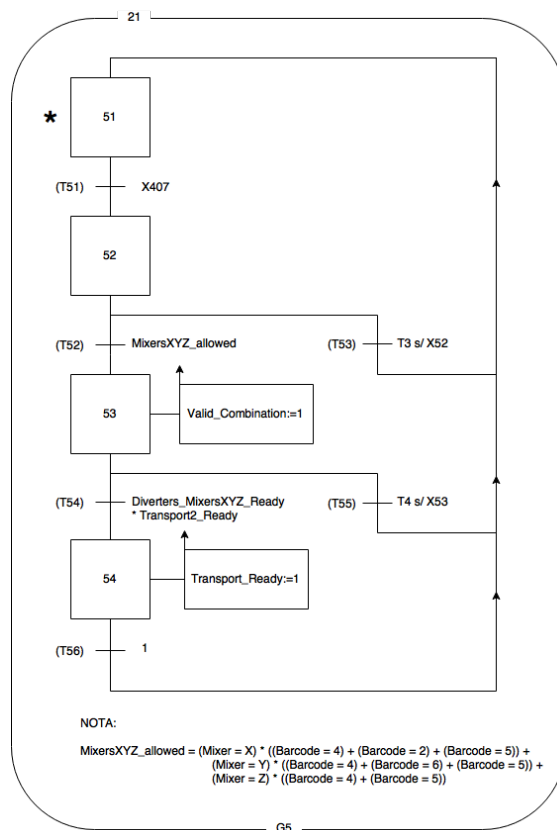


Figura 4.13: *Grafcet* referente ao transporte automático (SAC 2)

Dada a diferente configuração da tubagem de transporte auxiliar para cada um dos SAC, como é possível observar nas figuras 4.9 e 4.10, foi necessário elaborar *Grafcets* distintos para cada um dos casos. Os modelos representados nas figuras 4.12 e 4.13 dizem respeito aos SAC 1 e 2 respectivamente.

O *Grafcet* que diz respeito ao transporte automático funciona em paralelo com o *Grafcet* referente ao normal funcionamento. Este é responsável por verificar a compatibilidade entre o tipo de NF identificado e a linha de misturação indicada, e consoante esta verificação este deverá transportar o resultado para uma flag (*Valid Combination*) que irá ser acedida pelo modelo referente ao normal funcionamento. No caso de se verificar compatível, este deverá proceder à correta configuração da tubagem auxiliar aos SAC de forma a que o material alimente o *daybin* correto.

Este processo de configuração dos *diverters* não foi aqui especificado, no entanto esta passa apenas pela simples comutação da saída digital referente a cada um dos *diverters*. Caso a saída digital referente a um determinado *diverter* se encontre no nível lógico baixo, este encontra-se configurado para a posição/via inicial. Assim que esta saída passa para o nível lógico alto, o *diverter* irá comutar para uma posição alternativa à posição inicial. Por forma a conhecer o estado ou via em que o *diverter* se encontra atualmente recorre-se a dois sensores de proximidade, um para cada uma das posições possíveis. Estes são ativados quando o *diverter* se encontra na posição correspondente.

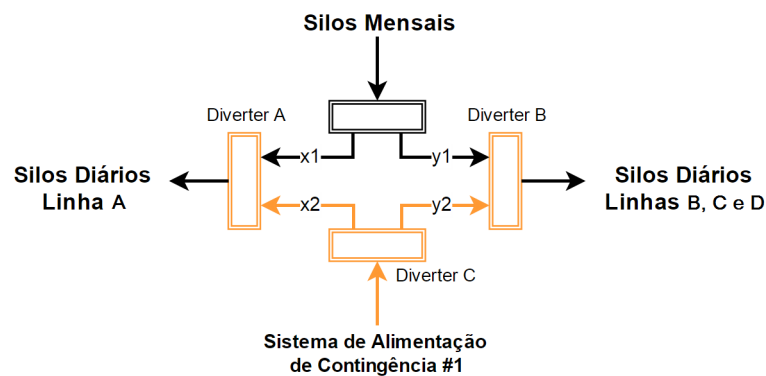


Figura 4.14: *Two Way Diverters*, Sistema de transporte auxiliar ao SAC1

No que diz respeito ao SAC 1, existem três *diverters* configuráveis, ver figura 4.14. Imaginemos a situação hipotética onde era necessário alimentar a linha de mistura A recorrendo ao SAC correspondente. De acordo com a figura 4.14, nesta situação assim como o *diverter C* deve ser configurado para a saída $x2$ também o *diverter A* deve ser configurado para a entrada $x2$. Neste caso a disposição do *diverter B* não é relevante. No SAC 2, tudo se torna mais simples uma vez que apenas existe um *diverter* responsável por escolher o modo abastecimento dos silos diários, ou recorrendo aos silos mensais ou então ao sistema de alimentação de contingência.

Para além disto o *Grafcet* respeitante ao transporte automático do material estará ainda dependente da configuração da tubagem principal que está a cargo do Sistema de Transporte correspondente. De facto além do sistema de transporte auxiliar aos SAC, é necessário também assegurar que os *diverters* referentes ao Sistema de Transporte correspondente também se encontram devidamente configurados. As configurações da tubagem são realizadas no estado 53 ou 54, dependendo da linha de mistura a alimentar, no caso do SAC 1 e no estado 53 no caso do SAC 2.

Note que a evolução do *Grafcet* que diz respeito ao normal funcionamento está dependente deste em dois pontos, na verificação da compatibilidade e na configuração da tubagem de transporte. Uma vez verificados estes dois pontos, o SAC fica apto a iniciar a descarga do *big bag*. De modo a iniciar o processo, o operador terá que elevar o *big bag* até à posição de descarga recorrendo ao garibalde e em seguida deverá premir o botão *Big Bag Ready*. Isto irá permitir informar o supervisor que poderá dar início ao processo de descarga, premindo assim o botão *Start*. O restante processo é semelhante àquele que havia sido descrito na subsecção 4.2.4, figura 4.8.

Por último, foi adicionada ainda uma funcionalidade extra muito semelhante àquela que já existe para a válvula rotativa, mas neste caso respeitante à aspiração. Devido à necessidade de por vezes ser conveniente ativar a aspiração aquando do manuseamento dos *big bags*, está previsto que seja possível ao operador controlar a ativação/desativação da aspiração a partir da estação de descarga. Esta funcionalidade tem por objetivo proteger a saúde do operador, pois com a ativação da aspiração durante uma simples troca de *big bags*, o vácuo criado dentro da tremonha graças a esta irá impedir que o NF não se disperse para o exterior. O *Grafcet* correspondente a esta funcionalidade encontra-se representado na figura 4.15. A ativação deverá ser acessível ao operador através da pressão de um botão, denominado *Aspiration Command*.

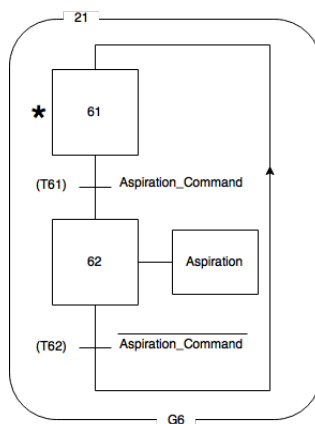


Figura 4.15: *Grafcet* referente à ativação independente da aspiração

4.3 Interface Homem-Máquina

Na secção anterior foram abordados vários aspectos que poderiam ser implementados ao nível dos Sistemas de Alimentação de Contingência com o intuito de tornar estes sistemas mais eficientes e mais adequados ao operador. Esta secção será dedicada a um desses aspectos, nomeadamente a integração dos SAC na visualização geral, mencionada em 4.2.5.3.

Como tal e para que esta integração seja possível, terá que ser elaborada uma interface Homem-Máquina (HMI) que transpareça o melhor possível o funcionamento dos SAC. Como já foi abordado na secção 2.2, existe um conjunto de características que uma interface deste tipo deverá possuir para que seja considerada uma boa solução.

Ao longo desta secção será descrito todo o processo inerente ao desenvolvimento de uma possível solução para a interface Homem-Máquina dos SAC. Por uma razão de redundância, procedeu-se à elaboração de uma interface gráfica apropriada a um dos SAC, neste caso o Sistema de Alimentação de Contingência 1. No entanto e como constataremos mais à frente, a solução apresentada para o SAC 1 poderá ser facilmente adaptada para o SAC 2 com apenas algumas alterações.

De forma a criar uma base sólida e estruturada, o método de desenvolvimento da especificação do HMI ao qual se recorreu baseia-se na norma ISO 13407. Esta norma define um processo iterativo, que se encontra representado de forma simplificada na figura 4.16. Em [8] é feito um acompanhamento bastante detalhado deste método.

4.3.1 Planeamento do processo de desenvolvimento do HMI

Como primeiro passo do processo de desenvolvimento da interface Homem-Máquina surge a fase de planeamento. Nesta fase serão tomadas algumas decisões importantes relativas ao desenvolvimento do HMI, nomeadamente:

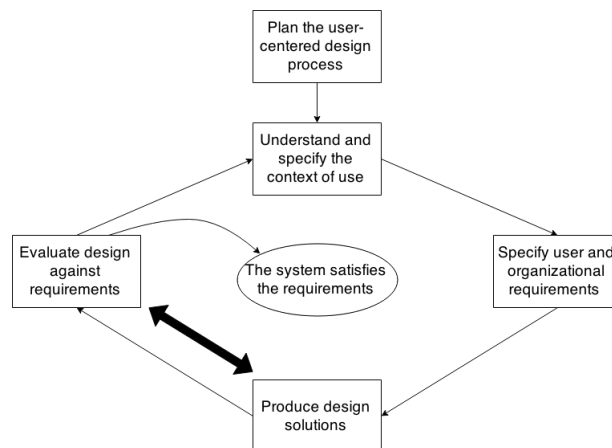


Figura 4.16: Etapas do processo de construção de um HMI de acordo com a norma ISO 13407

- Determinar o plano de trabalhos recorrendo a um diagrama de Gantt.
- Identificar o pessoal entendido no assunto que irá ser consultado, assegurando que estes estejam disponíveis ocasionalmente.
- Identificar os documentos relativos ao HMI proposto que irão ser produzidos com o intuito de descrever a comunicação entre este e o PLC responsável pelo controlo do sistema.
- Determinar quantos operadores irão intervir e como irão intervir.

Quanto ao plano de trabalhos necessário para o desenvolvimento da interface Homem-Máquina, este será constituído por uma parte inicial que passará pela especificação do contexto de uso e dos requisitos do sistema.

Ao longo da especificação do contexto de uso será determinada qual o objetivo do HMI, quem serão os futuros utilizadores do sistema, quais as suas características, quantos tipos de utilizadores serão necessários, quais serão o tipo de tarefas suportadas por cada tipo de utilizador, entre outros aspectos. Uma vez contextualizado o sistema, segue-se a especificação dos requisitos tanto ao nível organizacional como ao nível do utilizador. Nesta parte serão identificados os objetivos operacionais e financeiros. Para tal são identificados um conjunto de critérios que irão permitir determinar se o HMI cumpre ou não com os seus objetivos.

Assim que concluídos os dois tópicos anteriores, é altura de passar para o desenvolvimento do HMI propriamente dito. A partir daqui o processo decorre de uma forma iterativa, alternando entre um estado de desenvolvimento da solução e um estado de avaliação da solução tendo em conta os requisitos propostos no início do processo. O processo iterativo termina quando a interface Homem-Máquina cumpre com todos os requisitos a que foi proposta.

Na fase final do processo será necessário proceder à elaboração da documentação referente ao HMI desenvolvido. Como tal irá ser feito um documento relativamente detalhado contendo a especificação do HMI.

Tendo em conta que o sistema em causa, o Sistema de Alimentação de Contingência, já funcionou no passado ainda que de uma forma diferente daquela que está prevista para o sistema

restaurado, é fundamental recolher informações concretas através da consulta do pessoal que já contactou com o sistema. Através destes é possível ter uma visão mais alargada das características do sistema, nomeadamente o seu modo de funcionamento, as suas limitações e a sua estrutura. Grande parte dessa informação recolhida relativa aos SAC foi já descrita na secção 4.2. Para além disto está previsto recorrer-se a um especialista no sistema por forma a fazer várias avaliações do HMI ao longo do seu desenvolvimento. Com estas avaliações espera-se adequar certos aspectos ou até retificar eventuais erros que a solução possa comportar.

Tendo em conta a informação anterior foi elaborado um diagrama de Gantt referente ao planeamento dos trabalhos para a elaboração da interface Homem-Máquina. Está previsto que ao fim de quatro iterações a solução produzida convirja para os requisitos propostos.

Etapa	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Especificar o contexto de uso	■				
Especificar os requisitos organizacionais bem como ao nível do utilizador		■			
Desenvolvimento da solução tendo em conta os requisitos propostos		■	■	■	
Avaliar a solução desenvolvida tendo em conta os requisitos propostos			■	■	■
Elaborar a especificação da solução final					■

Figura 4.17: Diagrama de Gantt referente às tarefas necessárias para desenvolvimento do HMI

4.3.2 Compreender e especificar o contexto de uso

A contextualização do sistema é o passo seguinte do processo de desenvolvimento do HMI. Ao longo desta fase será feita uma primeira abordagem aos aspectos base que definem a identidade do HMI, nomeadamente:

- Determinar qual a missão do HMI a ser desenvolvido.
- Identificar o tipo de utilizadores que irão interagir com o HMI e que características destes utilizadores deverão ser tidas em conta durante o desenvolvimento da solução HMI.
- Identificar as tarefas que irão ser levadas a cabo por cada tipo de utilizador.
- Definir o tipo de software e hardware que irá ser utilizado para executar o HMI.
- Determinar que tipo de normas serão utilizadas no desenvolvimento do HMI.
- Identificar eventuais limitações que terão de ser tidas em conta.

Missão Começamos desde já pelo passo principal, determinar a missão do HMI a ser desenvolvido. A interface Homem-Máquina a ser desenvolvida tem como missão providenciar uma interface intuitiva, simples e funcional do Sistema de Alimentação de Contingência ao utilizador, de forma a permitir um controlo, monitorização e manutenção eficiente do sistema por parte do mesmo, garantindo assim que o processo de descarga decorra dentro requisitos estabelecidos.

É fundamental estar consciente da verdadeira missão que queremos para o nosso HMI pois isso terá um impacto profundo no seu desempenho futuro.

Utilizadores Uma vez determinada a missão do HMI, é necessário agora estabelecer o tipo de utilizadores que irão interagir com o mesmo. Após uma breve reflexão foram distinguidos os dois tipos de utilizadores.

- Operadores, responsáveis pela monitorização do processo normal de descarga.
- Técnicos de instrumentação e controlo, responsáveis pela calibração e manutenção do sistema.

Dada a função e o enquadramento do Sistema de Alimentação de Contingência no sistema geral, é trivial constatar que a utilização deste sistema se resume a situações pontuais em que é necessário uma alternativa ao normal abastecimento dos *daybins*. Consequentemente, esta baixa frequência de utilização dos SAC irá levar a que os utilizadores possam não conseguir assimilar integralmente o modo de funcionamento do sistema. De forma a combater este facto é essencial que a interface gráfica seja o mais simples e intuitiva possível, levando assim a que haja uma rápida e fácil compreensão de como o sistema funciona.

Os operadores são o principal grupo de utilizadores pois são estes que contactam mais tempo com o interface gráfico e para além disso são estes os responsáveis por levar a cabo a maior parte das tarefas. Assim sendo será dada uma maior prioridade às tarefas suportadas por este grupo de utilizadores.

Os técnicos de manutenção por sua vez possuem uma intervenção bastante menos frequente que os operadores. Isto deve-se ao facto da sua intervenção apenas se justificar em situações de falha cuja a dificuldade de resolução da mesma ultrapassa as capacidades dos operadores.

Tarefas Das descrições de funcionamento que foram feitas por alguns utilizadores, foi possível extrair um conjunto de tarefas que terão de ser levadas a cabo durante o funcionamento da estação de *big bags*. Com o intuito de listar as tarefas de uma forma lógica e organizada, recorreu-se a uma análise hierárquica das tarefas (*hierarchical task analysis*)[14].

Nesta análise são inicialmente identificadas o conjunto de tarefas base que podem ocorrer durante o funcionamento do SAC. O ideal seria que essa identificação fosse feita através da análise de alguns utilizadores durante o tempo em que estão a lidar com o sistema. Acontece que o sistema em causa encontra-se atualmente inativo, sendo então necessário fazer a identificação das tarefas através das descrições que nos são dadas mas também através dos objetivos estabelecidos para o

sistema. Assim que identificadas as principais tarefas, é possível constatar que parte destas tarefas são constituídas por um conjunto de tarefas mais específicas. Estas tarefas mais específicas quando combinadas de determinada forma originam as tarefas gerais que foram inicialmente identificadas.

Na figura 4.18 é possível observar o resultado da análise de tarefas para o Sistema de Alimentação de Contingência.

Relativamente ao modelo obtido, representado na figura 4.18, é de notar que, a tarefa do qual divergem todas as restantes tarefas constitui a missão do HMI. Na camada seguinte surgem as tarefas gerais que foram identificadas. Após pedido do supervisor, o operador faz o arranque do Sistema de Alimentação de Contingência (tarefa 1.1) e uma vez concluído o arranque do sistema o operador poderá dar início ao processo de descarga (tarefa 2). O processo de descarga envolve um conjunto de tarefas menores que terão de ser executadas por forma a cumprir a tarefa original. Inicialmente o operador deverá assegurar que o abastecimento das linhas de mistura correspondentes deverá estar configurado para o Sistema de Alimentação de Contingência e não para os silos mensais como é habitual (tarefa 1.2). Posto isto o operador deverá identificar o tipo de NF a descarregar recorrendo ao sistema de identificação por código de barras (tarefa 2.1), abordado em 4.2.5.2. A par disto deverá também ser feita a identificação da linha de mistura que se pretende abastecer (tarefa 2.3) e assim que confirmada a compatibilidade da informação disponibilizada o SAC deverá estar apto para iniciar o processo de descarga. Claro está que antes de iniciar o processo de descarga o operador deverá proceder à elevação do *big bag* até à posição de descarga e deverá informar o supervisor premindo um comando junto à plataforma (tarefa 2.2). Posto isto, assim que o supervisor verifique que o *big bag* se encontra pronto, este poderá agora dar início ao processo de descarga (tarefa 2.4).

Por vezes, no manuseamento ou troca dos *big bags* poderá ser vantajoso ativar a aspiração, por forma a impedir essencialmente que o NF se disperse (tarefa 2.5).

À medida que o processo de descarga acontece, o operador é ainda responsável pela sua monitorização (tarefa 3). Por sua vez monitorizar implica também ter em atenção um conjunto de aspectos, nomeadamente o estado dos sensores e atuadores presentes na plataforma de descarga (tarefa 3.1), o estado das válvulas de bypass e diverters responsáveis pelo encaminhamento correto do material (tarefa 3.2) e também o estado em que o sistema se encontra (a descarregar, parado, com falha, etc)(tarefa 3.3).

A tarefa 4 constitui um conjunto de medidas que poderão eventualmente ser aplicadas de forma a resolver falhas que possam surgir ao nível do SAC. Por exemplo, caso ocorra uma obstrução do material ao nível da válvula rotativa poderá ser benéfico ativar a mesma de forma independente, ou seja, sem que para isso seja necessário iniciar o processo de descarga. As subtarefas 4.1 e 4.2 são exemplo de medidas que poderão ser tomadas com intuito de resolver eventuais falhas. A execução da tarefa 4 estará portanto condicionada ao aparecimento de falhas.

Caso haja necessidade de se alterarem parâmetros de funcionamento do sistema, os técnicos de instrumentação e calibração poderão proporcionar esta alteração através da execução da tarefa 5. Poderão comutar entre dois modos de configuração dos parâmetros, o modo automático e o modo manual.

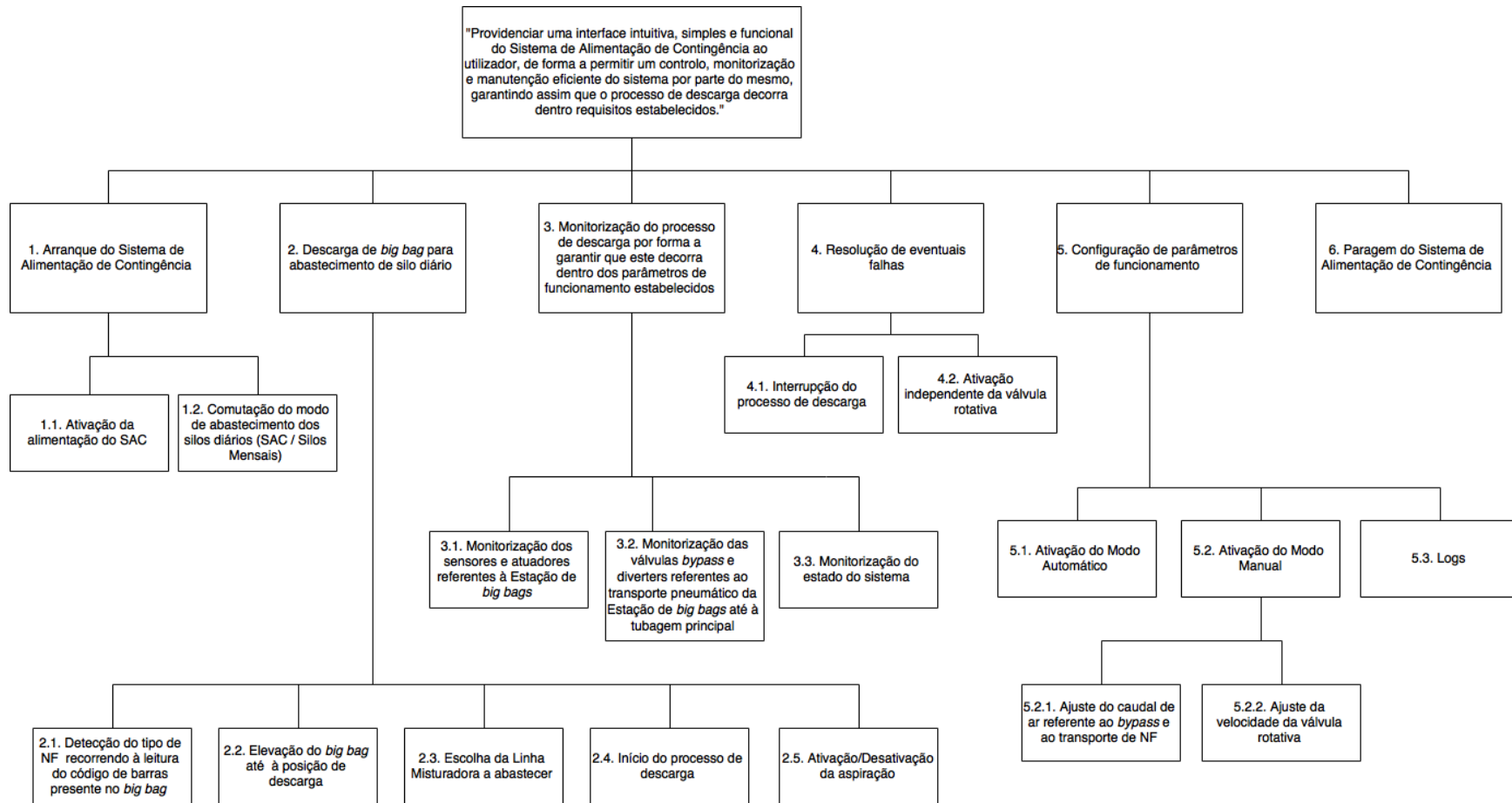


Figura 4.18: Modelo hierárquico de tarefas

No modo automático os parâmetros são configurados automaticamente pelo HMI, tendo em conta o silo diário que se pretende abastecer e o tipo de NF a descarregar. Por outro lado no modo manual, cabe aos técnicos responsáveis fazerem a inserção dos vários parâmetros.

Por último, temos a tarefa 6 que diz respeito à paragem do sistema e que apenas poderá ser executada mediante pedido do supervisor. Estas foram as principais tarefas identificadas e que irão ser cobertas pelo HMI de forma a que este atinja a sua missão.

Hardware e Software Como já foi referido anteriormente, na 4.2.5.3, um dos objetivos da implementação do HMI referente ao SAC é integrar este mesmo sistema na visualização geral dos sistemas que está presente na sala de controlo. Assim sendo como o HMI não irá estar exposto em ambiente industrial poderemos recorrer a um PC habitual, isto é, um PC sem qualquer tipo de características direcionadas ao ambiente industrial, ver 2.3. No entanto surge ainda outra questão, que tem a ver com o eventual reaproveitamento de um dos PCs já existentes na sala de controlo para servir de suporte ao HMI desenvolvido. Seria de facto boa prática reutilizar um destes PCs pois evitaríamos custos acrescidos e também pouparíamos espaço, visto que este é um aspecto com bastante relevância. Contudo, para que seja possível reutilizar um dos PCs existentes é necessário uma medida extra que passa por integrar o novo HMI que queremos adicionar ao HMI que o PC já possui, pois apenas podemos ter um HMI a correr em primeiro plano. Ora isto de certa forma implicaria pegar no projeto do HMI presente no PC e adaptar-lhe o HMI que desenvolvemos.

Quanto ao software, o PC em questão teria sobretudo que possuir um sistema operativo compatível com a plataforma de desenvolvimento e execução do HMI, que muito provavelmente seria o WinCC Flexible 2008. Assim sendo e tendo em conta a especificação da empresa, uma opção viável para o sistema operativo seria o Windows 7 Ultimate SP1 32bit. Para além disto, seria necessário instalar o WinCC Flexible Runtime para que seja possível correr o HMI no PC em questão, no entanto seria também boa prática instalar a própria plataforma de desenvolvimento do HMI, o WinCC Flexible 2008, para eventuais alterações no futuro. Claro está que caso seja reaproveitado um dos PCs já existentes, estes requisitos de hardware e software já se encontram garantidos.

Uma vez concluído o processo de contextualização do sistema iremos agora passar à especificação dos requisitos organizacionais bem como ao nível do utilizador.

4.3.3 Especificar os requisitos organizacionais bem como ao nível do utilizador

Neste momento já temos um conhecimento razoável daquilo que terá de ser coberto pelo HMI. Necessitamos agora de entender quais serão os requisitos do ponto de vista do utilizador e da organização.

Requisitos Após alguma discussão sobre o propósito do sistema e quais as suas características foi possível estabelecer um conjunto de requisitos base para o HMI. Para além dos requisitos habituais que qualquer HMI deverá cumprir (simples, coerente, não ambíguo, etc), ver secção 2.2, o HMI deverá cumprir os seguintes requisitos:

1. *Suporte das várias etapas do SAC*

Enquanto que até agora o operador possuía um controlo muito limitado sobre o SAC, com a implementação do HMI está previsto que este aspecto seja contornado e que haja um suporte completo do funcionamento deste sistema. Para que isto aconteça, o HMI deverá permitir um controlo e monitorização relativamente detalhado das duas principais componentes do SAC, a plataforma de descarga e o transporte do material até aos silos diários.

2. *Auxílio na comutação do modo normal de abastecimento para o modo de contingência, e vice-versa*

Entenda-se por modo normal de abastecimento como sendo o abastecimento dos silos diários através dos silos mensais. O auxílio do HMI na comutação entre os dois modos de funcionamento deverá passar por um interruptor de dois estados em que a cada um dos estados está associado um dos modos de funcionamento. Quando configurado para um determinado modo de funcionamento, o HMI deverá fornecer a informação necessária para que a configuração do sistema de transporte seja adequado ao modo selecionado. A configuração do sistema de transporte engloba a abertura ou fecho de válvulas de ar sejam elas pertencentes ao transporte ou ao desencravamento do material e também a comutação devida dos *diverters* preponderantes.

Note que esta funcionalidade poderá ser garantida ao nível do controlador sendo apenas necessário ao HMI enviar o modo de funcionamento selecionado pelo utilizador.

3. *Implementação do sistema de identificação por código de barras*

O HMI que irá ser desenvolvido deverá ser apto à utilização de um sistema de leitura de código de barras para identificação do tipo de NF a descarregar. A especificação do sistema de identificação por código de barras pode ser encontrada em [4.2.5.2](#).

4. *Prevenção ao nível de erros de descarga*

Cada silo diário está associado a um tipo de Negro de Fumo, logo um eventual abastecimento deste com um tipo de NF ao qual este não é compatível levará a um enorme inconveniente. Assim sendo e como medida de prevenção, o HMI deverá detetar este erro e em seguida comunicá-lo ao utilizador para que este reveja novamente os dados de descarga.

5. *Apto a configurar parâmetros do sistema*

Para além das funções de controlo e monitorização, o HMI deverá ainda proporcionar ao utilizador um conjunto de configurações possíveis do sistema, nomeadamente o fluxo de ar para o transporte do material, o fluxo de ar para o desencravamento/espaçamento do material e a velocidade da válvula rotativa. Deverá ainda ser possível configurar os limites de funcionamento para o qual deverá ser despoletado um aviso ou alarme.

6. Apto a dois tipos de utilizadores

Como já foi abordado na subsecção 4.3.2, o HMI deverá suportar dois tipos de utilizador, sendo eles operador e técnico de controlo e instrumentação.

O operador é o tipo de utilizador mais importante uma vez que é este que se encontra responsável pela principal função do sistema, a descarga. Este tipo de utilizador deverá ter acesso a todas as funções de controlo e monitorização proporcionadas pelo HMI, sendo apenas privado das funções de calibração e manutenção do sistema.

Por outro lado, o técnico de controlo e instrumentação deverá ter acesso a todas às mesmas funções que o operador e para além destas deverá ainda ter acesso às funções de calibração e manutenção do sistema.

7. Alarmes e possibilidade de log do sistema

Como é óbvio o HMI deverá suportar um sistema de alarmes. Este sistema deverá abranger todos os avisos e falhas associadas ao equipamento que de alguma forma poderá afetar o funcionamento do SAC. Para além disto o HMI deverá permitir a possibilidade de log da atividade do sistema.

8. Ativação independente da válvula rotativa e da aspiração

Esta funcionalidade já havia sido implementada para a válvula rotativa, ver secção 4.2.2. Assim sendo achou-se por bem manter este requisito e ainda fazer o mesmo para a aspiração.

Estes foram os principais requisitos identificados para a interface Homem-Máquina relativa ao Sistema de Alimentação de Contingência.

Melhorias previstas Com a implementação da interface gráfica espera-se ainda alcançar um conjunto de melhorias relativamente ao antigo funcionamento, ver subsecção 4.2.4. Em seguida iremos enunciar algumas dessas melhorias e demonstrar como é que estas podem vir a ser atingidas através da utilização do HMI.

Intervenção do Utilizador Com a integração do HMI espera-se diminuir a intervenção do operador, de duas formas:

- Na inserção dos dados de descarga, através da leitura automática do código de barras teremos a informação referente ao tipo de NF disponibilizada de forma imediata ao HMI.
- Na escolha do *daybin* a abastecer, pois uma vez inseridos os dados da descarga, o HMI irá verificar automaticamente qual o *daybin* pertencente à linha de mistura selecionada que é compatível com o tipo de NF que se pretende abastecer. Caso seja encontrado uma compatibilidade, o HMI irá informar o utilizador do *daybin* selecionado, cabendo a este a confirmação para que o processo tenha início. Caso a informação não seja compatível o HMI expõe um aviso.

Uma vez que a probabilidade de erro é diretamente proporcional à intervenção do Homem no processo [5], então ao diminuirmos a intervenção do operador no sistema estamos consequentemente a diminuir o número de erros que possam ocorrer neste. Vejamos por exemplo nos dois pontos referidos anteriormente, no primeiro caso ao termos uma identificação automática do tipo de NF estamos a evitar erros relacionados com a má identificação do material. No segundo caso, ao ser o próprio HMI a determinar o *daybin* que irá ser abastecido permite que sejam evitados erros relacionados com a incorreta escolha do *daybin*. Erros destes género são erros bastante significativos pois podem levar a prejuízos elevados.

Assim sendo está previsto reduzirmos o número de decisões feitas pelo operador para início do processo de descarga em dois terços.

Agilização dos processos Outro objetivo que queremos atingir com implementação do HMI passa pelo encurtamento dos tempos do processo, nomeadamente o tempo de descarga e o tempo de aprendizagem do próprio HMI.

Caso tudo corra como planeado, o tempo necessário para o processo de descarga será certamente aquele que assistirá a um maior decréscimo com a restauração planeada para o sistema. Desde logo o processo de inserção da informação relativa ao silo diário a abastecer e ao tipo de NF a descarregar será agilizada através da inserção do sistema de leitura de código barras, que irá ler diretamente a informação para o HMI, e da seleção intuitiva da linha misturação proporcionada pelo HMI. No que diz respeito à configuração da tubagem o HMI também irá ter um papel preponderante, pois uma vez inserida a informação de descarga e verificada a sua compatibilidade, o HMI, em função desta informação irá avisar de imediato o controlador do *daybin* que pretende abastecer.

Com estas automatizações do sistema prevê-se uma diminuição do tempo de descarga em pelo menos dez por cento.

Aprendizagem Dada a simplicidade e o carácter intuitivo da interface Homem-Máquina desenvolvida, está previsto que a aprendizagem por parte do operador ocorra de forma rápida. Com apenas três janelas a cargo do operador, uma referente à plataforma de contingência, outra referente ao sistema de transporte da plataforma até aos silos diários e por último uma janela referente aos alarmes ocorridos, pode-se afirmar que o processo de aprendizagem está facilitado. Para além disto e como já foi referido na subsecção 4.3.1 será também elaborado um documento com a especificação do HMI desenvolvido que poderá servir como guia ao utilizador.

Após a abordagem das melhorias que nos vão garantir o cumprimento dos requisitos do ponto de vista do utilizador e da organização, é necessário clarificar ainda como irá funcionar o sistema ao nível de cooperação e comunicação entre os utilizadores para operação do sistema.

Cooperação e Comunicação Sendo o sistema em causa um sistema de contingência, seria bom sinal se nunca fosse necessário recorrer a este. Tal indicaria que o habitual processo de abastecimento dos silos diários funcionaria sempre corretamente não havendo qualquer razão para recorrer

ao sistema alternativo. Contudo isto não acontece, daí ser necessário existir um sistema que seja capaz de substituir de forma razoável a atividade do sistema principal.

Assim sendo é expectável que a atividade do Sistema de Alimentação de Contingência seja pontual. Esta é a primeira razão pelo qual não foi sugerido a colocação de um painel de control junto à plataforma de contingência. As outras razões prendem-se, em segundo lugar, com o facto de a atmosfera em que o SAC está inserido ser extremamente rigorosa devido sobretudo à existência de esporádicas fugas de NF. Por último, este constitui um custo acrescido.

Posto isto, seria viável que a operação de descarga fosse realizada por dois intervenientes, um operador e o supervisor. O operador ficaria junto à plataforma encarregue de fazer a identificação do NF e de repor os *big bags* quando necessário, enquanto que o supervisor encontraria-se na sala de controlo encarregue de confirmar a informação de descarga e de monitorizar o estado do processo. Este seria o procedimento ideal, ver figura 4.19.

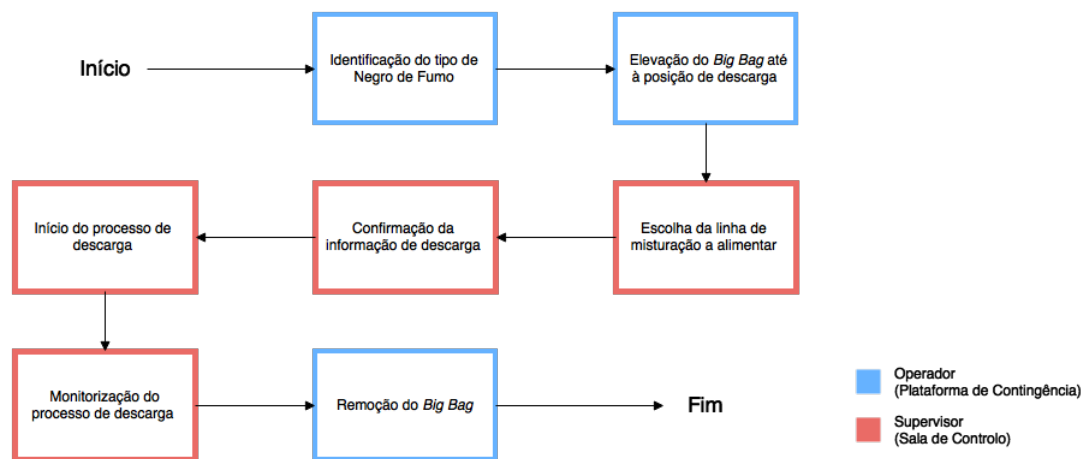


Figura 4.19: Procedimento para execução do processo de descarga de *big bag*

4.3.4 Desenvolvimento da solução tendo em conta os requisitos estabelecidos

Enquanto que até agora procurou-se entender as especificações do problema em causa, daqui em diante irá-se procurar encontrar a melhor solução para este. Como tal segue-se agora a fase de desenvolvimento da solução.

Antes de começar a desenvolver o HMI ao nível do software, iremos em primeiro lugar definir uma arquitectura para a nossa interface. Este passo irá permitir-nos ter uma ideia base de como o HMI irá estar organizado. Assim sendo, será necessário esclarecer um conjunto de aspectos que a arquitectura deverá incluir:

- Os tipos de displays envolvidos e qual o seu *layout*.
- Como irá a interface gráfica transparecer situações de normal e anormal funcionamento? Que símbolos serão utilizados para descrever o sistema e os seus equipamentos? Qual será a cor de fundo ?

- Os tipos de ajudas que serão providenciadas ao utilizador e o modo como serão implementadas, eletronicamente ou papel.
- Os mecanismos de alteração dos *setpoints* e dos limites a estes associados.
- Um mapa de navegação entre os vários displays.

Para além dos aspectos que foram mencionados, durante o desenvolvimento da arquitetura é também fundamental ter sempre em mente o conjunto de tarefas que deverão ser suportadas pela interface gráfica assim como a sua frequência. Das tarefas que foram distinguidas na análise hierárquica de tarefas, figura 4.18, existe uma que se destaca pela sua relevância e contínua execução, a monitorização. De facto e sem querer desvalorizar o papel das restantes tarefas, a tarefa de monitorização possui um papel de maior relevância. Dada a sua contínua atividade é importante adequar o HMI de forma a servir esta tarefa da melhor forma, dando por exemplo um espaço reservado a esta tarefa em todos os displays. Assim independentemente do display em que o utilizador se encontre, este estará sempre em condições de monitorizar o processo.

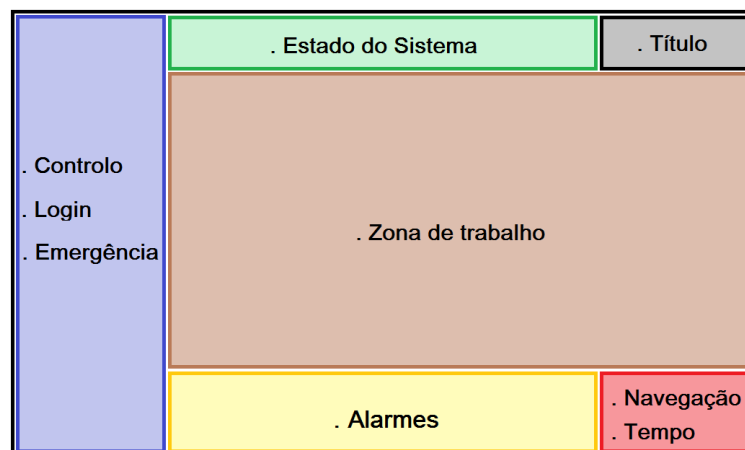


Figura 4.20: Organização do template adoptado

Template Pela razão que foi mencionada, decidiu-se reservar um espaço periférico no HMI que irá servir não só a tarefa de monitorização mas também a de controlo em qualquer que seja o display escolhido pelo utilizador. Tomando isto em atenção começamos então por definir o template a utilizar na nossa interface. O *template* adoptado para o nosso HMI teve como base os templates dos HMIs já existentes na sala de controlo, daí se ter recorrido ao mesmo tom acizentado para o fundo da interface. Um primeiro rascunho do template pode ser observado na figura 4.20.

Os esquemas P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*) que serão utilizados mais à frente para representar o sistema foram também uma ideia retirada dos templates existentes. Por outro lado houve elementos que foram adicionados, é o caso da barra de estados. Houve ainda a preocupação de criar algum contraste entre os vários elementos e o fundo em que estes se inseriam, para que existisse uma mais fácil percepção dos mesmos.

O template, como já mencionámos, tem como função suportar as tarefas de monitorização e controlo. Na figura 4.20 é possível distinguir seis zonas, nomeadamente: a zona a cinzento, onde se encontra identificado o título do sistema ao qual a interface se refere; a zona a azul, onde vão ficar situados os botões de controlo básicos (Start, Stop, Acknowledge, etc), o botão de emergência e a zona de login; a zona a verde, é constituída por uma barra responsável por informar o estado do sistema em cada momento (Conveying, Not Conveying, General Fault, Emergency, etc); a zona a vermelho, onde irão estar situados os botões para navegação entre os vários displays e a hora; a zona a amarelo, será ocupada por uma tabela responsável por exibir os alarmes ativos; e por fim a zona a castanho, esta é a zona onde irão ser representados os restantes displays, sendo as restantes zonas mantidas em qualquer um dos outros displays seleccionados.

Na figura A.3, encontra-se representado um exemplo prático de como poderia vir a ser implementado o *template* aqui especificado.

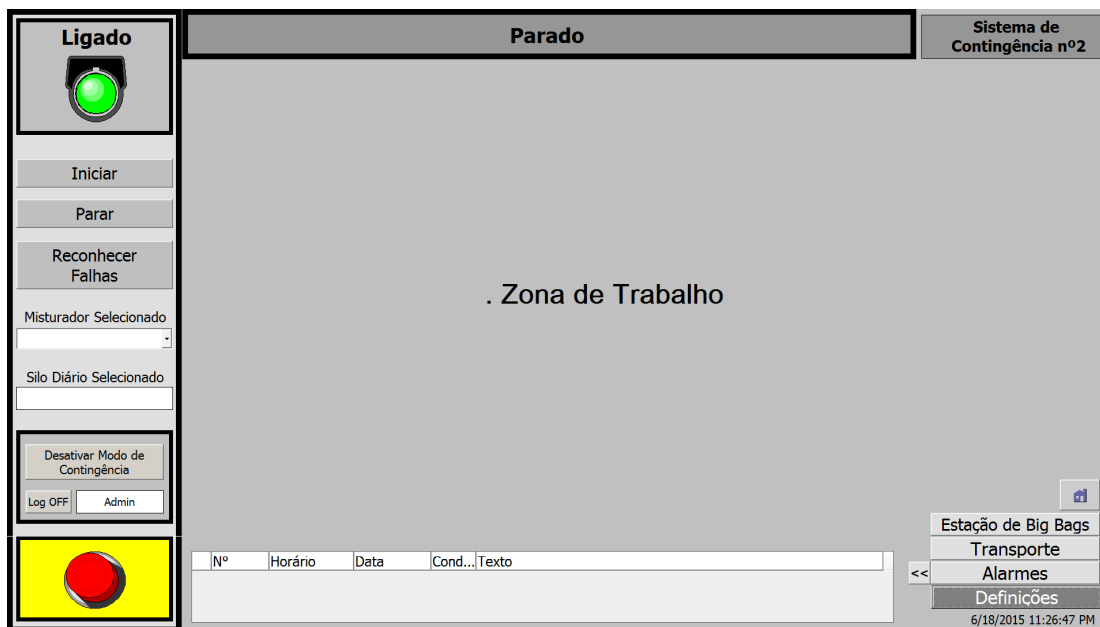


Figura 4.21: Aplicação prática do *template* definido

Displays Seguidamente ao template seguem-se os vários displays que irão suportar as diferentes tarefas. Os displays definidos são:

- Display referente à estação de descarga de *big bags*.
- Display referente ao transporte desde a estação de descarga até aos silos diários.
- Display referente aos alarmes ocorridos.
- Display referente às configurações do SAC.

Estação de Descarga O display referente à estação de descarga tem como objetivo facilitar a monitorização dos equipamentos associados à estação (motores, filtros, válvulas, etc). De modo a criar uma representação simples e intuitiva da estação achou-se por bem recorrer ao diagrama P&ID respectivo com a devida representação do estado dos componentes. Muita das vezes é desaconselhada a utilização deste tipo de diagramas em HMIs, visto que por norma estes diagramas são complexos e contém mais informação do que aquela que é necessária. No entanto neste caso este apresenta-se bastante simples e de fácil percepção. Na figura 4.2 está representado o P&ID referente à estação de descarga do SAC2.

Para além da representação P&ID foi adicionada ainda uma janela que diz respeito ao estado dos vários equipamentos existentes na estação de descarga. Esta permite esclarecer quaisquer dúvidas que possam restar quanto à identificação do estado dos vários componentes da estação. É de certa forma uma redundância da representação P&ID.

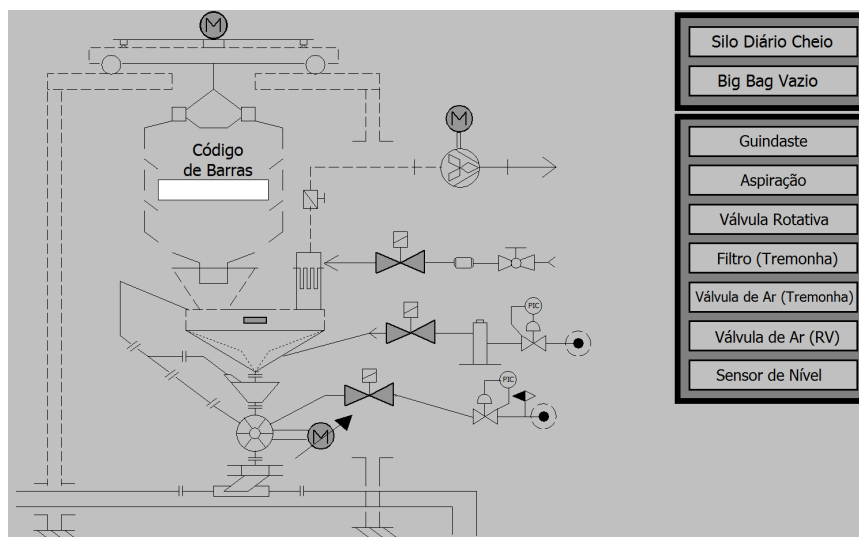


Figura 4.22: Exemplo de display dedicado à estação de descarga

Transporte Do mesmo modo que está previsto representar a estação de *big bags* no display respetivo, também no display referente ao transporte se irá fazer o mesmo mas agora com o transporte do material. Ora este display tem como função auxiliar o operador no processo de monitorização do sistema, mais concretamente no transporte do material desde a estação de descarga até aos silos diários. De forma a que a compreensão do processo seja mais rápida, o P&ID irá ser simplificado de forma a conter apenas os elementos que interessam para o processo de monitorização do transporte.

Este display irá incluir todos os elementos preponderantes no transporte até aos silos diários. É o caso das válvulas seletoras de vias (*diverters*), as válvulas de ar respeitantes ao desencravamento e ao transporte do material, e até os sinais de nível e pressão que dizem respeito aos silos diários serão representados.

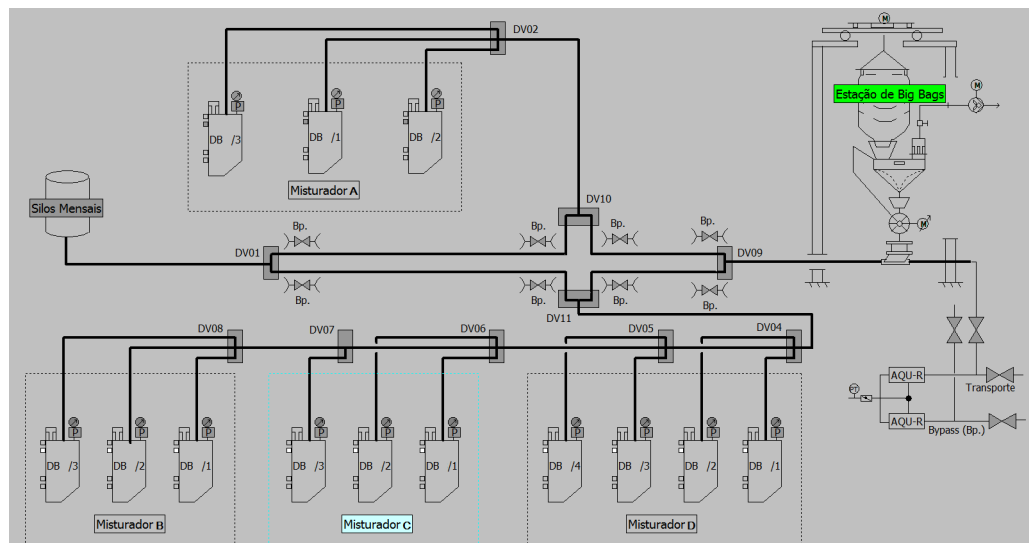


Figura 4.23: Exemplo de display dedicado ao transporte do material

Alarmes Em seguida iremos ter um display dedicado apenas à análise dos alarmes ocorridos. Neste destacar-se-ão dois elementos que na verdade são duas tabelas, uma referente aos alarmes atualmente ativos e a outra referente ao histórico de alarmes ocorridos. Nestas não serão apenas exibidos alarmes, serão também exibidos avisos e eventos do sistema, como é o caso de um login feito pelo operador. Para além deste display inteiramente dedicado aos alarmes, está previsto em cada uma das restantes páginas haver uma pequena tabela em rodapé com os alarmes ocorridos. Assim o operador não terá que se encontrar no display dedicado aos alarmes para que possa detetar um alarme.

Ainda no seguimento dos alarmes, na figura 4.20 a zona a verde que irá ser responsável por informar o estado do sistema, terá entre os vários estados definidos um estado que alerta para uma falha existente no sistema. Isto será detalhado aquando da especificação do HMI.

Histórico de Alarmes				
Nº	Horário	Data	Con...	Texto

Alarmes Ativos				
Nº	Horário	Data	Con...	Texto

Limpar Histórico de Alarmes

Figura 4.24: Exemplo de display dedicado aos alarmes

Definições Por último, teremos um display dedicado inteiramente às definições do sistema. Este display não estará acessível aos operadores, apenas os técnicos de instrumentação e controle e seus superiores terão acesso a este. Isto sucede-se uma vez que neste display será possível configurar um conjunto de variáveis associadas ao sistema que poderão pôr em causa o bom funcionamento do mesmo. Daí este ser apenas acessível a pessoal com o conhecimento adequado.

Neste será possível regular três aspectos do Sistema de Alimentação de Contingência, sendo eles:

- Pressão de ar utilizada para fazer o transporte do material desde a estação de descarga de *big bags* até aos silos diários.
- Pressão de ar utilizada para fazer o espaçamento/desenclavamento do material ao longo do seu percurso.
- Velocidade da válvula rotativa.

Para todos eles será possível inserir manualmente os respetivos *setpoints* para o seu funcionamento, no entanto existe a opção de definir automaticamente esses *setpoints*. Estes *setpoints* são gerados automaticamente tendo em conta o tipo de NF a descarregar bem como o silo diário a abastecer. No caso da pressão de ar necessária ao transporte, esta será tanto maior quanto maior for a distância ao silo diário a abastecer. Claro está que estes parâmetros terão que ser definidos aquando da fase de testes do HMI.

Assim sendo, e caso a configuração se encontre em modo automático, para um dado tipo de NF e um determinado silo diário estará atribuído um conjunto de parâmetros bem definidos. Caso a configuração se encontre em modo manual, cabe ao respetivo utilizador a responsabilidade dos parâmetros que irá inserir no sistema.

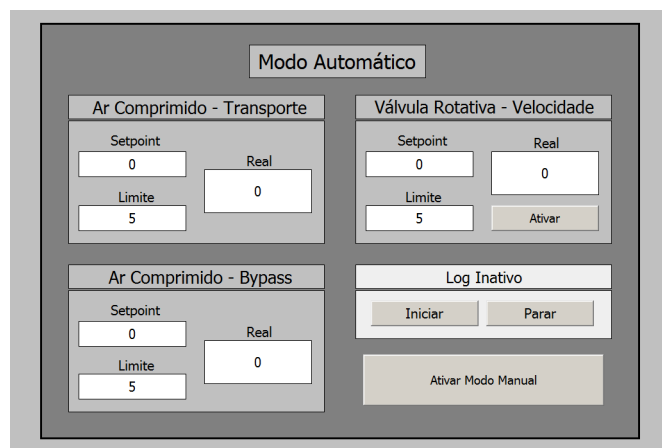


Figura 4.25: Exemplo de display dedicado às definições do sistema

Além da configuração dos *setpoints* será possível ainda definir a margem de tolerância para o funcionamento de cada uma das variáveis. Acontece que uma vez definidos os *setpoints*, o sistema irá reagir de forma a convergir para esses mesmos valores, no entanto por alguma razão

isto nem sempre se sucede. Posto isto será possível ao utilizador especificar um limite para o qual funcionamento é tolerável. Caso o valor real da velocidade da válvula rotativa, por exemplo, venha a ultrapassar esse limite, a interface despoletará uma falha do sistema para que o utilizador possa tomar uma decisão.

Neste display haverá ainda a possibilidade de habilitar ou desabilitar a ocorrência de *logs*. Isto não é mais que um registo dos vários eventos que ocorreram desde que o *log* foi iniciado, seja alarmes, avisos ou eventos do sistema.

Mapa de Navegação No que diz respeito à navegação entre os vários displays, é possível a partir de um display aceder a qualquer um dos outros, não havendo qualquer restrição. A navegação entre os displays é feita recorrendo a um conjunto de quatro botões presentes no template, mais concretamente na zona a vermelho (ver figura 4.20). A cada um dos botões está associado um display.

Na figura 4.26 está representado o mapa de navegação entre os vários displays, o botão a branco em cada um displays representa o botão selecionado.

Documentação Auxiliar Quanto às ajudas providenciadas ao utilizador e como já havia sido referido, será elaborado um documento com a especificação do HMI onde estarão detalhados os vários elementos que o constituem. Este poderá ser um bom auxílio a qualquer um dos utilizadores que o queira consultar. Existem ainda algumas ajudas providenciadas ao nível da própria interface que serão abordadas precisamente aquando da especificação da interface gráfica.

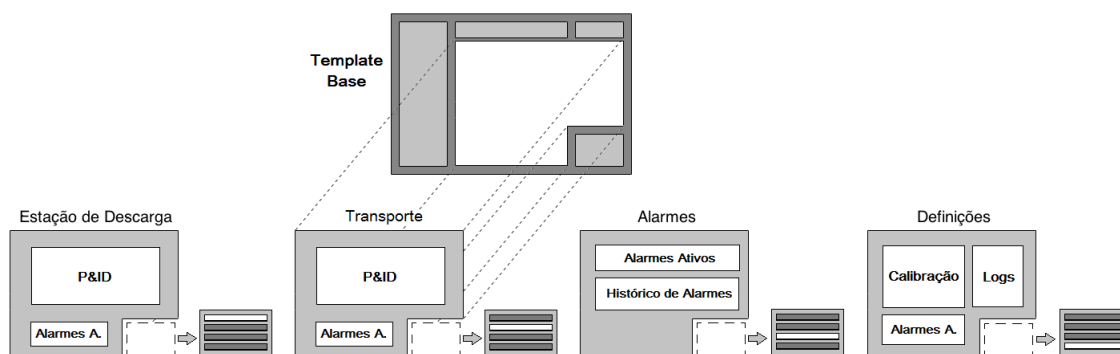


Figura 4.26: Mapa de navegação entre os vários displays

4.3.5 Avaliação da solução desenvolvida tendo em conta os requisitos estabelecidos

Finalmente, e como último passo do processo de desenvolvimento do HMI surge a avaliação da solução desenvolvida face aos requisitos estabelecidos. Como havia sido planeado, ver figura 4.16, esta etapa seria realizada alternadamente com a etapa de desenvolvimento da solução, terminando apenas quando a solução cumprisse com os requisitos.

Assim sendo e de forma a proceder com o processo de avaliação serão aqui destacadas duas técnicas bem conhecidas relativas à avaliação de interfaces de utilizador.

- Avaliação Heurística
- Teste de Usabilidade

Estas duas técnicas apresentam características muito distintas sendo que cada uma apresenta as suas próprias vantagens e desvantagens. A combinação destas duas técnicas constitui uma avaliação sólida da interface.

Posto isto e de forma a proceder à avaliação da solução aqui desenvolvida, procurou-se fazer uma abordagem a cada uma destas técnicas estando de certa forma limitado dado o esforço logístico que estas implicam. O rascunho da solução aqui avaliada pode ser observada na secção referente à especificação do HMI, [A.1.4.4](#).

4.3.5.1 Avaliação Heurística

Normalmente este tipo de avaliação é realizada recorrendo a um pequeno grupo de especialistas, que irão inspecionar a interface determinando a sua conformidade com um conjunto de princípios de desenho certificados, heurísticas. Por outro lado, esta técnica não está interessada em saber se o HMI se encontra corretamente adaptado às tarefas do utilizador. Este teste poderá ser realizado recorrendo-se ao teste de usabilidade.

Na tabela 4.3 encontram-se descritas algumas das vantagens e desvantagens referentes à avaliação heurística.

Tabela 4.3: Vantagens e Desvantagens relativas à Avaliação Heurística

Avaliação Heurística	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Rápida realização, a avaliação de um display poderá demorar apenas alguns minutos. • Relativamente acessível, em termos económicos. • Permite identificar os problemas de usabilidade maiores. • Não necessita da intervenção do utilizador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poderá parecer simples, no entanto esta técnica necessita de um conhecimento substancial em "boas práticas" de desenho de HMIs. • Geralmente esta permite apenas detetar 30% a 50% dos problemas. • Não permite identificar a falta de suporte das tarefas por parte do HMI.

Apesar das suas limitações, a avaliação heurística constitui uma técnica adequada quando o tempo é limitado ou quando se pretende ter uma ideia inicial da situação do HMI. O procedimento para execução da avaliação heurística é bastante mais simples que o procedimento para o teste de usabilidade. Por norma na avaliação heurística um grupo de aproximadamente cinco especialistas é reunido para a avaliar individualmente a interface. Inicialmente estes deverão começar por

familiarizar-se com o HMI e só depois é que procederão à avaliação propriamente dita. A avaliação é realizada recorrendo a uma lista de heurísticas. Em anexo A.20 é possível observar uma lista de heurísticas habitualmente usadas [15]. Cada especialista deverá avaliar a conformidade do HMI com cada uma das heurísticas numa escala preferencialmente simples (ex., aprovado, reprovado, não se aplica). No final, deverão ser feitas recomendações de forma a melhorar a situação do HMI. Note que estas recomendações deverão cingir-se às heurísticas abordadas.

Em seguida é feita uma avaliação exemplo do que seria uma avaliação heurística do HMI desenvolvido. Para além da avaliação ao nível da escala adoptada (aprovado, reprovado e não se aplica), será feita uma pequena justificação de cada avaliação.

- Visibilidade do estado do sistema - aprovado. A barra de estados prevista no template adoptado, figura 4.20, garante que o utilizador a qualquer altura possa estar informado do atual estado do sistema.
- Conformidade entre o sistema e o utilizador - aprovado. A interface não recorre a qualquer tipo de linguagem técnica do sistema para explicar partes do processo. A representação do sistema em P&ID é razoavelmente simples e fácil de entender. As legendas existentes na interface são em geral claras.
- Controlo de utilizador - aprovado. O utilizador tem total controlo sobre o processo, podendo a qualquer momento interromper o processo de descarga.
- Consistência e standards - aprovado. A interface foi desenvolvida tendo em conta algumas das "boas práticas" estabelecidas pelas *guidelines* definidas em [3].
- Prevenção de erros - aprovado. O ponto crítico do sistema passa pelo processo de descarga de NF. Assim sendo a existência de uma verificação interna da compatibilidade dos dados de descarga inseridos irá evitar que ocorram erros a este nível. Caso se verifique uma incompatibilidade, o sistema despoleta uma janela de aviso, figura A.12, por forma a dar conhecimento ao utilizador da situação ocorrida.
- Reconhecimento ao invés de recordação - aprovado. A interface desenvolvida está constantemente a informar do estado em que se encontra o sistema. Também ao longo do processo de descarga o operador não necessita de memorizar o silo diário que mandou abastecer pois enquanto esta ocorrer a interface mantém a identificação do silo.
- Flexibilidade e eficiência de uso - aprovado. O HMI apresenta uma flexibilidade razoável no que diz respeito ao processo de descarga, visto que existe a possibilidade de fazer a identificação do tipo de NF recorrendo ao sistema de identificação por código de barras ou então inserindo manualmente a informação no HMI. Ainda assim a eficiência de uso da interface poderá ser melhorada através da configuração de atalhos no teclado (ex., navegação entre os displays, selecção da misturadora, etc).

- Desenho estético e minimalista - aprovado. O template da interface é bastante simples e intuitivo, o mesmo se passa com os vários displays, à exceção do display referente ao transporte do material que possui uma quantidade de informação acima do aconselhado. As legendas relativas aos equipamentos nos esquemas P&ID conferem alguma confusão à interface. No entanto através da criação de um sistema que permita habilitar/desabilitar o aparecimento destas, o esquema torna-se facilmente perceptível.
- Ajuda e documentação - aprovado. Como auxílio ao utilizador poderá ser consultado um documento onde se encontra especificado o HMI desenvolvido, ver secção A.1
- Ajudar o utilizador a reconhecer, diagnosticar e recuperar de erros - reprovado. Aconteça o que acontecer irão sempre surgir erros. O HMI desenvolvido não possui ainda a informação suficiente acerca dos equipamentos envolvidos, de modo a que este possa indicar a natureza do erros ocorridos assim como a melhor forma de os resolver. Os alarmes configurados para cada um dos equipamentos apenas nos indicam a ocorrência de situação anormal ou falha do equipamento.

4.3.5.2 Teste de Usabilidade

Como havia já sido referido, o teste de usabilidade e a avaliação heurística complementam-se, visto que estas visam avaliar características distintas do HMI. Enquanto que a avaliação heurística tinha como objetivo avaliar se o HMI seguia as "boas práticas" de desenho de interfaces, o teste de usabilidade pretende verificar se o HMI suporta corretamente as tarefas ao qual se encontra comprometido.

Tabela 4.4: Vantagens e Desvantagens relativas ao Teste de Usabilidade

Teste de Usabilidade	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Permite identificar, a priori, problemas de usabilidade antes de o HMI começar sequer a ser programado. • Foca-se no que realmente interessa, a eficácia e eficiência de suporte proporcionada pelo HMI ao utilizador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apesar da simplicidade do processo, é importante que haja uma boa preparação da avaliação a realizar e que o responsável por esta seja devidamente qualificado. • Existe uma grande grande variabilidade na forma como os testes são conduzidos. • Relativamente dispendiosos em termos de recursos, tempo e dinheiro.

De uma forma simples, o teste de usabilidade consiste em escolher um grupo representativo de utilizadores e fazê-los simular uma seleção das tarefas recorrendo ao rascunho do HMI desenvolvido. Na tabela 4.4 encontram-se descritas algumas das vantagens e desvantagens do teste de usabilidade.

Dado o significativo esforço logístico que este processo de avaliação implica, foi necessário fazer uma simplificação do mesmo. Como tal procurou-se fazer uma análise de eventuais tarefas que poderão ser levadas a cabo pelos utilizadores tendo sempre em atenção as dificuldades que possam surgir.

Em primeiro lugar analisemos quais os passos necessários ao nível do HMI de forma a efetuar a descarga de *big bag*. A análise deverá ser acompanhada pela observação da figura 4.27.

Numa fase inicial é aconselhado que o operador se encontre no display referente à estação de descarga. Isto justifica-se uma vez que a identificação do NF é apenas aqui exibida e para além disso este encontra-se em condições de monitorizar os equipamentos referentes à estação.

- 1º Passo - Identificar o tipo de NF. Este passo poderá ser executado recorrendo ao sistema de identificação por código de barras ou então inserindo manualmente o código na caixa de texto respectiva. Embora apenas possa ser visível neste display, a informação relativa ao tipo de NF não passa despercebida devido ao facto de esta se encontrar bem no centro do ecrã.
- 2º Passo - Selecionar a linha de misturação a abastecer. Este botão localizado na barra lateral esquerda do template quando pressionado apresenta as várias opções possíveis, evitando assim que seja inserida informação inválida.

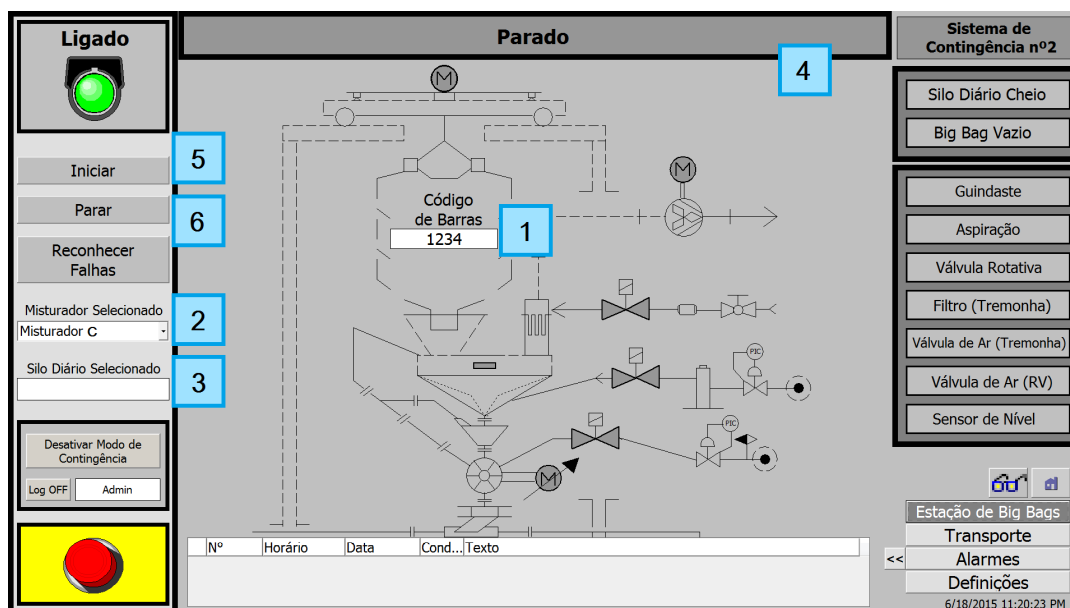


Figura 4.27: Passos a cumprir de forma a iniciar o processo de descarga

- 3º Passo - Confirmar a identificação do silo diário selecionado. Aqui o operador encontra-se em condições de saber qual a identificação do silo diário a abastecer. Esta inclui a linha de misturação, o silo selecionado e o tipo de NF que este silo contém. Caso a informação inserida seja incompatível uma mensagem de aviso será despoletada
- 4º Passo - Esperar que o *big bag* fique pronto para descarregar. Verificada a compatibilidade dos dados inseridos, o *big bag* é agora elevado até à posição descarga. Uma vez que este esteja em condições de descarregar, o operador deverá informar o supervisor, premindo um botão próprio para esse efeito.
- 5º Passo - Dar início ao processo de descarga, pressionando o botão *Iniciar*.
- 6º Passo (Opcional) - Eventualmente poderá haver a necessidade de parar o processo, isto pode ser conseguido pressionando o botão *Parar*.

Em geral todos os comandos envolvidos na efetuação do processo de descarga apresentam boa visibilidade. A disposição dos botões poderá confundir o operador numa primeira fase. No entanto uma vez experienciado o processo, este é facilmente assimilável.

Vejámos agora como é possível comutar o modo de abastecimento das linhas de misturação, ver figura 4.28. Neste caso está explícito o procedimento para passagem do modo de abastecimento normal para o modo de contingência.

- 1º Passo - Fazer o pedido de comutação do modo de abastecimento. Este passo pode ser executado de duas formas. Primeira opção será pressionando o botão *Ativar Modo de Contingência* e a segunda opção é pressionando diretamente sobre a estação de descarga representada no esquema.
- 2º Passo - Desativação do modo de abastecimento normal. Isto verifica-se através da mudança ocorrida ao nível da legenda associada aos silos mensais, passando de verde (a operar, ativo) para cinza escuro (inativo).
- 3º Passo - Atualização do estado do sistema. O sistema abandona o estado *Modo de Contingência Desligado* e passa ao estado *A Ativar Modo de Contingência*, estado de transição onde ocorrem as configurações necessárias. Uma vez finalizado o estado de transição o sistema passa ao estado de *Parado*, ou seja, pronto para descarregar.
- 4º Passo - Ativação do modo de contingência. Assim como se verificou para a legenda referente aos silos mensais também se verifica para a legenda referente à estação de *big bags*, contudo agora a passagem ocorre ao contrário, ou seja, passa de cinza escuro para verde. Note que a legenda só fica verde assim que todas as configurações necessárias para funcionamento do sistema de contingência fiquem prontas.

Como vimos a mudança de modo de abastecimento é melhor acompanhada a partir do display referente ao transporte. No entanto esta pode ser efetuada a partir de qualquer display visto que

uma das formas de ativação passa por um botão existente na barra lateral esquerda. Embora não seja detetável à primeira vista, este botão possui uma legenda clara que permite ao utilizador identificar rapidamente o seu propósito.

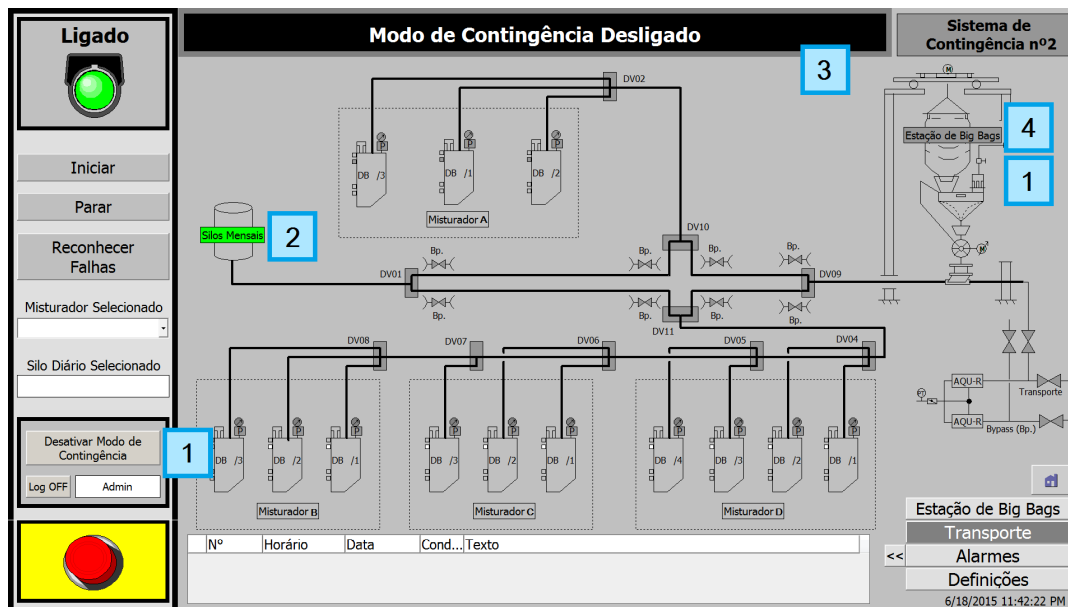


Figura 4.28: Passos a cumprir de forma a a comutar o modo de abastecimento

Por fim analisemos agora o procedimento para alteração dos parâmetros de funcionamento do sistema. A figura 4.29 remete para a alteração dos parâmetros de pressão de ar ao nível do transporte.

- 1º Passo - Ativação do modo de configuração manual. Em primeiro lugar deverá ser alterado o modo de configuração dos parâmetros para o modo manual, pressionando o botão *Ativar Modo Manual*. Só assim é que o utilizador estará habilitado a alterar o valor dos parâmetros.
- 2º Passo - Passagem do modo automático para o modo manual. O atual modo de configuração encontra-se indicado na parte superior do display através de uma simples legenda. Assim que alterado o modo de configuração esta legenda deverá transparecer essa alteração indicando o novo modo de configuração, que neste caso será o modo manual.
- 3º Passo - Alteração do valor de *setpoint*. Uma vez em modo manual a caixa de texto referente ao *setpoint* passa a estar editável. O utilizador deverá inserir o valor pretendido e fazer *Enter*.
- 4º Passo - Alteração do valor para o limite estabelecido. Aqui repete-se o mesmo processo que foi feito para o *setpoint*.

O display referente às definições do sistema revela-se bastante simples. No entanto, para que o utilizador proceda à alteração dos parâmetros do sistema terá que haver um conhecimento mínimo acerca dos modos de configuração.

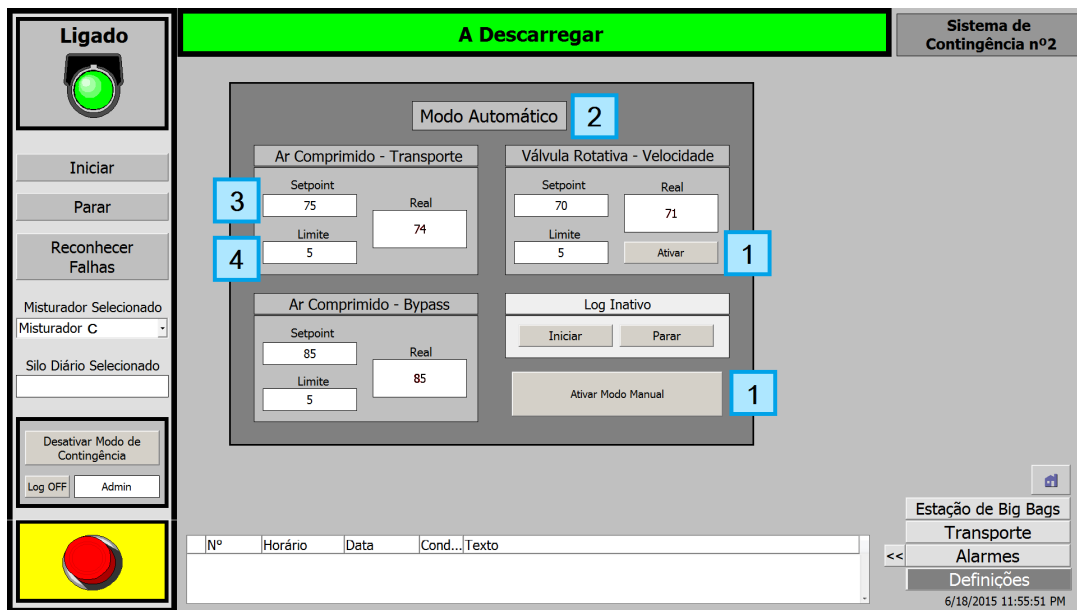


Figura 4.29: Passos a cumprir de forma a alterar os parâmetros de funcionamento

Uma vez que o HMI desenvolvido revelou-se relativamente sólido nas avaliações que lhe foram feitas, estamos finalmente em condições de passar à especificação da solução que foi criada para o nosso sistema. A especificação assume-se como um documento independente e pode ser consultada em anexo A.1. Na verdade, ao contrário daquilo que por vezes se pensa a especificação não é o objetivo final, é antes o meio para atingirmos esse objetivo.

Capítulo 5

Migração da Plataforma de Controlo

Uma vez concluído o plano de contingência relativo à paragem da Estação de Descarga e Armazenagem 1A, estão reunidas as condições para proceder à migração do sistema de controlo.

Antes de mais é essencial estar consciente daquilo que um processo deste género irá implicar. Recordando rapidamente o contexto da situação, a Estação de Descarga e Armazenagem automatizada, cujo controlo se encontra entregue a um autómato cujo modelo, SIMATIC S5, se encontra obsoleto. Assim sendo, e de forma a evitar potenciais prejuízos, surge a forte necessidade de se proceder à substituição do equipamento que se encontra em desuso por equipamento atual, neste caso o modelo de autómatos SIMATIC S7.

Este processo de substituição do equipamento antigo por um novo corresponde de certa forma a uma conversão do sistema. Na verdade este processo passará por, a partir das características do sistema de controlo antigo dimensionar um novo sistema de controlo capaz de cumprir com as tarefas a que o sistema precedente estava submetido.

Como tal e de forma a tornar mais claro o processo de conversão, podemos dividir este mesmo processo em duas etapas principais, sendo elas:

- Conversão ao nível do hardware, onde são analisados os requisitos físicos do sistema antigo e a partir destes é dimensionado o hardware necessário para o novo sistema de controlo.
- Conversão ao nível do software, onde ocorre a tradução do programa existente em *Step 5* para a nova plataforma de programação, *Step 7*.

Note que, *Step 5* e *Step 7* correspondem às plataformas de programação associadas a cada um dos modelos de autómatos S5 e S7, respectivamente.

Como foi referido no Capítulo 1, um dos principais objetivos deste documento é apoiar o processo de conversão do sistema de controlo. Como tal, ao longo deste capítulo serão inicialmente discutidas as possíveis estratégias para a conversão do sistema (secção 5.1) posteriormente será adoptada uma dessas estratégias e finalmente será feita uma abordagem tanto ao nível da conversão do hardware (secção 5.2) como do software (secção 5.3) tendo em conta a estratégia escolhida.

5.1 Estratégia

Vimos já que são inúmeras as razões para se proceder à migração do modelo de autómato SIMATIC S5 para o SIMATIC S7. Uma das principais razões prende-se com os eventuais prejuízos que podem derivar da utilização de equipamentos obsoletos. De facto, a componente económica assume aqui um papel de relevância.

Claro está que o investimento feito no processo de migração é bastante considerável, contudo, pode ser atenuado através de algumas decisões. Uma decisão que por sua vez poderá influenciar significativamente o investimento necessário para o processo de migração tem a ver com a estratégia a adoptar.

Quando se fala na migração de um sistema de controlo obsoleto para um sistema de controlo atual, pressupõe-se a completa substituição dos componentes antigos por componentes novos equivalentes. Contudo, existem estratégias mais económicas que consistem na conversão parcial do sistema de controlo. Algumas destas estratégias encontram-se descritas no *White Paper* publicado pela Siemens, "SIMATIC S5 to S7 Migration"[2].

O reaproveitamento das cartas de E/S é uma das estratégias abordadas no documento anterior. Esta estratégia é igual à estratégia que defende a total renovação do hardware, no entanto possui a particularidade de se preservarem as cartas de IOs antigas. Ao nível da implementação do software esta seria muito semelhante, havendo apenas alguns cuidados extra a ter com a adaptação destas cartas ao sistema novo. A grande vantagem desta estratégia surge no ponto de vista económico, pois as cartas de IOs constituem uma das maiores percentagens do investimento.

Outra hipótese seria substituir apenas as cartas de IOs, mantendo-se assim o autómato antigo. Esta estratégia é apenas usada em casos muito específicos, uma vez que, como já foi referido anteriormente, o maior investimento deve-se às cartas de IOs

Contudo, e como já havia sido referido anteriormente (secção 4.1) o projeto para a migração do sistema de controlo referente à EDA 1A prevê a total reformulação da parte elétrica. Isto para além de implicar a atualização do sistema de controlo irá também implicar a renovação dos quadros elétricos e da cablagem a este associados. Daí que seja expectável que a estratégia adoptada para a migração do sistema de controlo venha a ser completa.

Posto isto é necessário planear a nova plataforma de controlo tanto do ponto de vista do hardware como do ponto de vista do software. Ao nível do hardware será necessário determinar essencialmente como é que o novo sistema irá estar disposto e que equipamentos é que serão escolhidos para o constituir. Já ao nível do software terá que ser tomada a decisão de ou adaptar a aplicação existente à nova plataforma de programação, o *Step 7*, ou então desenvolver uma nova aplicação de raiz. Apenas quando tudo estiver definido é que se poderá dar início ao processo de conversão da plataforma de controlo.

5.2 Hardware

Ao longo desta secção será discutido o processo de conversão da componente de hardware referente ao sistema de controlo da EDA 1A. O processo de conversão aqui descrito baseou-se sobretudo em documentação disponibilizado pela própria Siemens [2] [6] [19].

No final desta secção será apresentada uma proposta concreta para a substituição do sistema de controlo. Previamente foi necessário fazer um levantamento do sistema, compreender a sua estrutura e formular uma nova solução para este.



Figura 5.1: Autómato SIMATIC S5 a substituir

5.2.1 Levantamento do Equipamento Existente

O primeiro passo a dar para a conversão do hardware passa por fazer o levantamento de todo equipamento associado ao antigo sistema de controlo. Como tal foi necessário fazer mais que uma visita aos locais (sala de controlo e sala elétrica) onde o equipamento se encontrava. Como primeira impressão foram retiradas algumas informações acerca do sistema de controlo SIMATIC S5, nomeadamente:

- O sistema de controlo S5 apresenta uma arquitetura de rede distribuída.
 - O autómato principal (S5-115U), Mestre, encontra-se na sala de controlo.
 - Ao autómato principal estão associados quatro módulos de entradas e saídas remotas, Escravos, localizados na sala elétrica.

- A comunicação entre as partes é feita via rede SINEC L1, cujo mecanismo de acesso ao meio é do tipo Mestre-Escravo.
- O autómato principal está conectado a uma rede externa através de um router.
 - A comunicação é feita via Ethernet TCP/IP.
 - A rede externa ao qual este está conectado interliga vários sistemas (autómatos), como é o caso dos dois Sistemas de Transporte, referidos na secção 3.2.
- O sistema de controlo S5 possui interface Homem-Máquina (HMI) na sala de controlo.
 - Esta interface é partilhada com os restantes sistemas.

Na figura 5.2, está representado um esquema referente à rede existente entre os vários equipamentos SIMATIC S5. Passemos agora à listagem dos vários componentes.

O resultado do levantamento realizado encontra-se devidamente organizado na tabela 5.1.

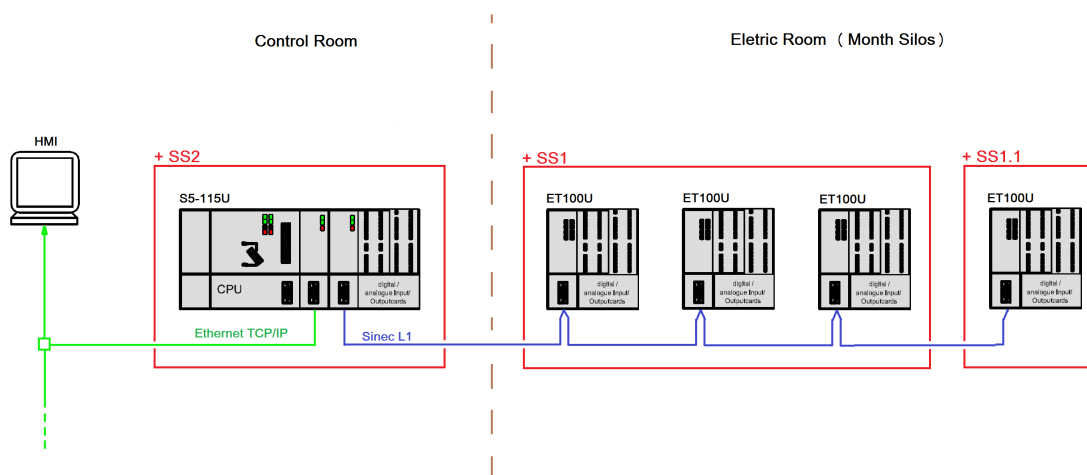


Figura 5.2: Rede distribuída referente ao sistema de controlo S5

A tabela apresenta a descrição do componente, a quantidade existente deste componente, a sua localização e o respectivo *machine-readable product designation* (MRPD). O MRPD é uma referência interna da Siemens que permite identificar inequivocamente cada produto.

Da análise da tabela é possível distinguir o módulo principal e os quatro módulos de entradas e saídas remotas que lhe estão associados. O módulo principal encontra-se em dois *racks*, um *rack* principal (item 4) onde se encontram os componentes principais (módulo de alimentação, CPU, módulo de comunicação) e um segundo *rack* (item 5) que foi adicionado devido à incapacidade do primeiro conter todas as cartas de IOs. A comunicação entre os dois *racks* é feita através de um módulo de interface (item 7).

O módulo principal é constituído por um módulo de alimentação (item 1), um CPU (item 2), um módulo de comunicação com a rede externa (item 3), dois módulos de comunicação com a

Tabela 5.1: Equipamento Siemens SIMATIC S5

Item	Quant.	Descrição	MRPD	Local
1	1	Power Supply - PS951 7/15A	6ES5951-7LD11	Sala de Controlo
2	1	CPU942B Processor Module	6ES5942-7UB11	
3	1	CP1430 TF	6GK1143-0TA02	
4	1	Central Mounting Rack-CR2	6ES5700-2LA12	
5	1	Extension Sub-Rack 9-slots	6ES5701-1LA12	
6	1	IM308A Interface Module	6ES5308-3UA12	
7	1	IM306 Interface Module	6ES5306-7LA11	
8	2	IM Cable - IM306	6ES5705-0AF00	
9	1	Cable TP Cord 15/RJ45 2M	6XV1850-2LH20	
10	1	EPROM 16K	6ES5376-1AA11	
11	1	Flash Memory Module 256 KB	6ES5374-2KH21	
12	8	Digital Output Module - 32DO	6ES5451-7LA11	
13	6	Digital Input Module - 32DI	6ES5430-7LA11	
14	1	ET100U Interface Module	6ES5318-8MA12	Sala Elétrica
15	10	Digital Input Module - 8DI	6ES5421-8MA12	
16	12	Digital Output Module - 8DO	6ES5441-8MA11	
17	1	ET100U Interface Module	6ES5318-8MA12	
18	12	Digital Output Module - 8DO	6ES5441-8MA11	
19	1	ET100U Interface Module	6ES5318-8MA12	
20	6	Digital Input Module - 8DI	6ES5421-8MA12	
21	1	ET100U Interface Module	6ES5318-8MA12	
22	4	Digital Input Module - 8DI	6ES5421-8MA12	
23	4	Digital Output Module - 8DO	6ES5441-8MA11	
24	2	Analog Input Module - 4AI	6ES5464-8ME11	

rede interna (item 6 e 7) e uma série de cartas de IOs digitais (item 12 e 13). Para além destes foram identificados alguns elementos secundários (item 8-11).

Relativamente aos módulos remotos, estes resumem-se a um módulo de comunicação com a rede interna (item 14, 17, 19 e 21) e a um conjunto de cartas de IOs digitais. Um destes módulos remotos possui ainda duas cartas de entradas analógicas (item 24).

Uma vez identificados os elementos que compõem o sistema de controlo da EDA 1A, serão agora analisados os requisitos que deverão ser assegurados pelo novo sistema de controlo tendo como base o sistema antigo e as pretensões da empresa.

Tabela 5.2: Contabilização das E/S utilizadas

Tipo	Quantidade por módulo	Nº de módulos	Total
Entradas Digitais	32 DI	6	352 DI
	8 DI	20	
Saídas Digitais	32 DO	8	480 DO
	8 DO	28	
Entradas Analógicas	4 AI	2	8 AI

5.2.2 Análise de Requisitos

Mais que uma simples conversão do sistema de controlo, pretende-se que haja uma reformulação do mesmo.

Desde logo e como já foi feito com o sistema de controlo da EDA 1B, está previsto que o equipamento de controlo seja retirado da sala de controlo e passe a localizar-se na sala elétrica. Uma vez que os módulos remotos do sistema antigo já se localizavam na sala elétrica a única parte do sistema que irá ser deslocada, será o autómato. Apesar da deslocalização do controlador, terá que continuar a haver uma comunicação entre este e a sala de controlo de forma a que ocorra a troca de informação necessária entre o autómato e a interface Homem-Máquina.

O sistema de controlo aqui em causa é responsável pelo encaminhamento do material desde o momento em que é descarregado do camião até à deposição deste no interior dos silos de armazenamento mensal. Com o passar do tempo houve a necessidade de se proceder a algumas alterações do sistema, foi o caso módulo remoto presente no quadro +SS1.1. Este módulo foi adicionado com o intuito de recuperar os sensores envolvidos no topo dos silos mensais. Acontece que o facto de o módulo se encontrar na sala elétrica, junto à base dos silos, implica que haja uma quantidade considerável de cabos a serem passados do topo dos silos até à sala elétrica. Posto isto, aquando da substituição do equipamento obsoleto, poderá vir a ser boa solução deslocar este módulo para o topo dos silos reduzindo assim a quantidade de cablagem a passar. Esta medida para além de permitir poupar espaço poderá significar também uma poupança ao nível económico.

Claro está, com o avanço da tecnologia os sistemas atuais possuem características mais desenvolvidas que os sistemas antigos. Ainda assim é necessário assegurar que o sistema S5 seja substituído por um sistema S7 de características no mínimo equivalentes. Em anexo A.21, encontra-se representada a tabela com as características gerais do CPU S5 usado (CPU 942-7UB11).

Outro aspecto que se deverá ter em atenção é a quantidade de entradas e saídas digitais e analógicas que deverão ser suportadas pelo novo sistema. Na tabela 5.2, encontram-se contabilizadas os vários tipos de entradas e saídas utilizados pelo atual sistema.

Ao nível das redes de campo, tem-se vindo a verificar uma transição de protocolos. O protocolo Profibus, há já muito anos estabelecido como uma das principais redes de comunicação industrial, tem vindo a ser substituído por um outro protocolo seu sucessor, o protocolo Profinet. Dado que esta transição tem vindo a ocorrer na empresa aqui em causa, está previsto que o novo sistema de controlo cumpra com este requisito também.

Estes são alguns dos aspectos que deverão ser tidos em conta no momento da conversão do hardware.

5.2.3 Proposta

Uma vez estabelecidos os requisitos do sistema, procurar-se-á agora encontrar uma solução concreta para a conversão do hardware.

5.2.3.1 Controlador

A primeira e principal tarefa passa pela escolha do controlador. Antes de passar às características técnicas do controlador é necessário definir o tipo de controlador. Os dois tipos de controladores que poderão ser usados são, o PLC (*Programmable Logic Controller*) ou então o IPC (*Industrial PC*).

Como foi discutido na secção 2.3, existem situações em que a utilização de cada um destes controladores se justifica. Posto isto, será desenvolvida aqui uma abordagem a cada um destes tipos de controladores e por fim será feita uma comparação.

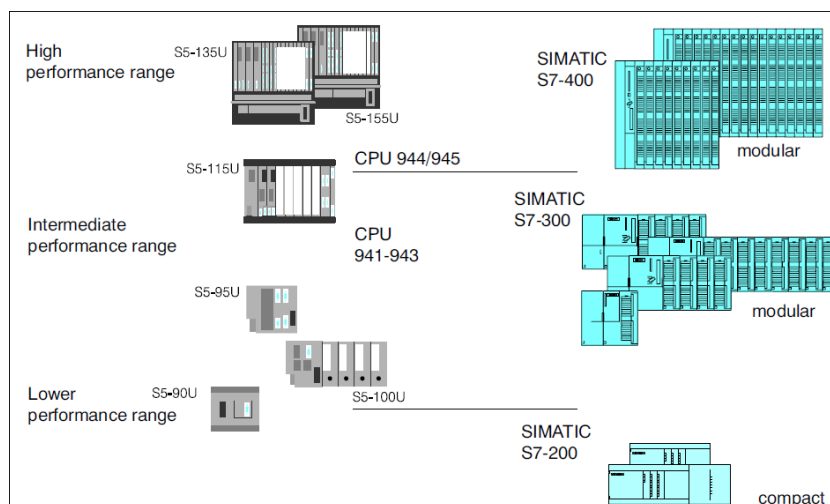


Figura 5.3: Comparação entre autômatos da gama S5 e S7

Como é possível observar na figura 5.3, um autômato da gama S5-115U é considerado um autômato de gama média-alta. De uma forma geral, o substituto adequado para substituição deste seria um autômato da gama S7-300.

Segundo a Siemens [2], existem dois aspectos fulcrais que deverão ser tidos em conta na escolha do CPU. O primeiro aspecto é o tamanho da memória. Aqui é aconselhada a escolha de um CPU com a quantidade de memória equivalente ao CPU a substituir mais a memória necessária para cobrir a expansão. Esta memória adicional irá variar consoante a quantidade de memória usada pelo programa. O segundo aspecto tem a ver com a capacidade de endereçamento das entradas e saídas. Consultando a lista de equivalências providenciada neste documento, é possível observar que a primeira hipótese a considerar na substituição do CPU atual, 6ES5942-7UB11,

seria o CPU com a referência 6ES7315-2AG10-0AB0. Atualmente este artigo foi sucedido pelo artigo 6ES7315-2EH14-0AB0, que por sua vez faz parte da especificação da empresa.

Após a análise da respectiva especificação técnica do CPU, ver anexo A.22 e A.23, verificou-se que ambos os aspectos revelados essenciais na escolha do CPU eram cumpridos.

A outra alternativa para o controlador seria a utilização de um PC industrial. A presença deste tipo de controladores nos sistemas de controlo da empresa tem vindo a tornar-se cada vez mais notória. Tal facto deve-se sobretudo ao baixo custo dos PCs industriais quando comparados com o custo dos PLCs. Tendo em conta a especificação da empresa e o nível de complexidade do sistema, uma solução válida para o controlo do mesmo seria o SIMATIC IPC427D, cuja referência é 6ES7647-7BK40-0DD0.

Ambos os equipamentos aqui apresentados constituem soluções válidas para o controlo do sistema. Assim sendo e assumindo que ambas as soluções são capazes de suportar o controlo da EDA 1A, é natural que seja dada preferência à solução mais económica.

5.2.3.2 Redes

Como já havia sido decidido na fase de estabelecimento dos requisitos, a rede de campo que irá ser utilizada ao nível do sistema de controlo da EDA 1A será PROFINET. Posto isto terá que ser assegurado que todos os elementos presentes neste sistema de controlo são compatíveis com este tipo de rede, isto inclui o controlador e os módulos de entradas e saídas remotas a este associados.

No que diz respeito ao controlador, tudo irá depender do tipo de controlador que irá ser usado. Neste contexto assumiremos apenas as duas hipóteses abordadas na escolha do controlador. Caso se venha a optar pelo PC industrial, SIMATIC IPC427D, como controlador do nosso sistema, a compatibilidade estará desde logo garantida uma vez que este já integra a interface necessária para comunicar com uma rede PROFINET. Caso se venha a optar pela solução baseada no autómato, CPU315-2, terá que se ter o cuidado de escolher a versão correta deste autómato. Na verdade, existem duas versões deste autómato, uma dedicada a redes PROFIBUS e outra dedicada a PROFINET.

Uma vez assegurada a compatibilidade dos vários elementos do sistema no que toca à sua rede interna, PROFINET, é necessário agora fazer a comunicação deste sistema com o exterior. Esta integração na rede externa para além de permitir que haja a comunicação entre os vários sistemas, permite ainda a integração deste sistema na interface Homem-Máquina. A ligação à rede externa deverá ocorrer via Ethernet TCP/IP. Ao passo que o PC industrial já integra este tipo de interface, o autómato necessita de um módulo extra, um *Communication Processor*, para poder comunicar com a rede externa. Uma opção válida para este módulo seria o CP343-1, definido na especificação da empresa.

São aspectos como este que tornam a solução baseada no autómato menos económica. Enquanto que o PC industrial constitui uma solução compacta com um leque considerável de funcionalidades já integradas, o autómato por cada nova funcionalidade que se pretenda acrescentar terá que se adquirir um novo módulo que lhe garanta essa funcionalidade. Como é óbvio esta característica pode ser uma vantagem em algumas situações e uma desvantagem noutras.

5.2.3.3 Gestão dos módulos remotos

Antes de procedermos à gestão dos módulos remotos, iremos definir em primeiro lugar o modelo concreto destes módulos. Os módulos remotos dividem-se em dois tipos, com e sem CPU integrado. Os módulos remotos com CPU integrado permitem o processamento de informação no local, transmitindo apenas ao controlador a informação relevante. Por sua vez o módulo remoto sem CPU integrado, não possui qualquer tipo de processamento da informação, sendo apenas responsável por realizar a comunicação entre um conjunto de entradas e saídas e o controlador.

Neste contexto, não se justifica implementar módulos remotos com CPUs integrados, não só porque até agora toda a informação era processada no controlador principal mas também porque esta constitui uma solução menos económica. Assim sendo e tendo em conta a necessidade do módulo escolhido ser compatível com a rede de campo PROFINET, o módulo sugerido é o IM 151-3PN, cuja referência é 6ES7 151-3AA23-0AB0.

Como havia sido explicado na análise de requisitos, seria boa prática a implementação de um módulo remoto no topo dos silos mensais. Este módulo suportaria o mesmo número de entradas e saídas que o módulo precedente dedicado ao topo dos silos suportava (item 21, tabela 5.1). Quanto aos restantes módulos, estes localizariam-se na sala elétrica dividindo entre si as restantes entradas e saídas.

5.2.3.4 Cartas de E/S

Dada a elevada quantidade de entradas e saídas do sistema, optou-se por recorrer a cartas com um número igualmente elevado de entradas e saídas. Assim, as cartas de E/S (Entradas e Saídas) digitais escolhidas para o novo sistema de controlo são cartas de 8 entradas, 6ES7131-4BF00-0AA0, e de 8 saídas, 6ES7132-4BF00-0AB0. As cartas de entradas analógicas são cartas de duas entradas, 6ES7 134-4GB01-0AB0.

Note que este tipo de cartas são alimentadas a partir de uns módulos especiais, denominados *power modules*. Estes módulos podem alimentar várias cartas, estando no entanto limitados à sua corrente máxima de saída. Assim sendo, quanto menor for a corrente consumida por cada módulo maior será a quantidade de módulos que o *power module* poderá alimentar. Por norma, as cartas de saídas, especialmente as analógicas, são aquelas que mais corrente consomem. Para além de estarem encarregues de alimentar as cartas de E/S, os *power modules* permitem ainda monitorizar os consumos das cartas que alimentam.

A referência destes módulos é 6ES7 138-4CA01-0AA0. O número de *power modules* necessário terá que ser dimensionado consoante a corrente consumida pelas cartas de E/S.

5.2.3.5 Resultado

Reunida agora toda a informação que foi até aqui tratada, formulou-se a seguinte proposta para o novo sistema de controlo, ver tabela 5.3. Esta proposta foi construída tendo em conta os requisitos estabelecidos anteriormente e a especificação da empresa.

Tabela 5.3: Proposta para o novo sistema de controlo, SIMATIC S7

Item	Quant.	Descrição	MRPD	Local
1	1	SIMATIC IPC427D (Microbox PC)	6ES7647-7BK40-0DD0	Sala Elétrica
2	2	ET200S Interface Module PN	6ES7151-3AA23-0AB0	
3	40	Digital Input Module - 8 DI	6ES7131-4BF00-0AA0	
4	56	Digital Output Module - 8 DO	6ES7132-4BF00-0AB0	
5	x	Power module 24V DC	6ES7138-4CA01-0AA0	
6	1	ET200S Interface Module PN	6ES7151-3AA23-0AB0	Topo Silos Mensais
7	4	Digital Input Module - 8 DI	6ES7131-4BF00-0AA0	
8	4	Digital Output Module - 8 DO	6ES7132-4BF00-0AB0	
9	4	Analog Input Module - 2 AI, 4-20mA	6ES7 134-4GB01-0AB0	
10	x	Power module 24V DC	6ES7138-4CA01-0AA0	

A proposta apresentada defende que o sistema de controlo deverá ser dividido essencialmente entre dois locais, a sala elétrica e o topo dos silos mensais. O controlador escolhido, que neste caso foi um PC industrial, assim como a maior parte das cartas de E/S irão localizar-se na sala elétrica. Dada a quantidade de cartas presentes na sala elétrica, estas terão que se repartir no mínimo entre dois módulos remotos. Tal deve-se ao facto de os módulos escolhidos poderem suportar no máximo 63 cartas de E/S por módulo e além disso é aconselhado que o comprimento destes módulos não ultrapasse um metro, pois a partir deste limite poderão ser notórios os atrasos de leitura e escrita das entradas e saídas, respectivamente. No topo dos silos bastará apenas um módulo remoto para fazer a gestão das entradas e saídas.

Note-se que a proposta não inclui a cablagem necessária nem certos elementos, como é o caso da alimentação de 24V que se assume já existir no quadro elétrico. Também o número de *power modules* não se encontra aqui especificado, visto ser necessário fazer uma simulação do consumo das cartas de E/S para que se possa estimar um número de *power modules*.

5.3 Software

Após ter sido discutida a conversão do hardware referente ao sistema de controlo da EDA 1A, será feita agora uma abordagem à conversão do software respectivo. A migração da gama de autómatos S5 para a gama S7 para além de implicar uma total renovação dos equipamentos, implica também uma atualização da plataforma de programação do controlador.

Desde já é necessário esclarecer que o *Step 5* é a plataforma de programação utilizada para o desenvolvimento de aplicações em controladores da gama SIMATIC S5. Já a plataforma de programação *Step 7* diz respeito à gama de controladores SIMATIC S7. É importante ainda salientar que estas duas plataformas são incompatíveis entre si, sendo assim obrigatório proceder à adaptação da aplicação numa eventual mudança de plataforma.

Tal facto irá implicar a necessidade de se realizar uma conversão do programa existente em *Step 5* para a nova plataforma de programação, o *Step 7*. Posto isto, existem dois tipos de abordagens para proceder a esta conversão:

- Conversão Automática, onde se recorre a uma ferramenta disponibilizada pela Siemens que permite converter quase integralmente um programa S5 num programa correspondente em S7.
- Conversão Manual, onde é construído o programa de raiz.

A ferramenta de conversão de S5 em S7, contida na plataforma de programação *Step 7* constitui de facto uma mais valia para quem pretende transitar o seu programa de uma plataforma para a outra. No entanto, note que esta ferramenta não retira as responsabilidades a quem efetua a conversão, visto que esta não garante uma conversão total do programa. De facto, o primeiro requisito para se proceder à conversão de um programa passa por possuir um conhecimento completo da aplicação e do sistema em si. Logo, qualquer programa que seja convertido recorrendo à ferramenta de conversão deverá ser cuidadosamente analisado e testado de forma a garantir o seu correto funcionamento.

Por outro lado temos a conversão manual, onde não se recorre a qualquer tipo de software para a conversão. Neste método o programa está inteiramente a cargo da pessoa responsável pela conversão e aqui o programa é construído de raiz tendo em vista a nova plataforma de programação. Por estas razões é que este método é por norma bastante mais demorado e mais exigente que o método automático. A utilização deste método justifica-se sobretudo em situações onde para além de se proceder à conversão do programa pretende-se também fazer alterações significativas ao nível da estrutura do programa original.

Como foi constatado, em ambos os métodos de conversão a pessoa responsável pelo processo deverá estar completamente familiarizada com o sistema que irá converter. Este revela-se um aspecto fulcral, pois a qualidade de funcionamento do sistema é diretamente proporcional ao nível de conhecimento que o programador apresenta relativamente ao sistema em causa. Posto isto e de forma a auxiliar o programador numa eventual conversão do programa relativo à EDA 1A, será feita em seguida a modelação do sistema recorrendo à linguagem de modelação *Grafcet*.

5.3.1 Modelação

Como tal foram definidos 8 *Grafkets* por forma a modelar da melhor forma o funcionamento da Estação de Descarga e Armazenagem 1A. Em seguida encontram-se sumarizados os *Grafkets* envolvidos.

- *Grafket 1*, referente à alimentação do sistema, figura 5.5.
- *Grafket 2*, referente ao estado de emergência do sistema, figura 5.6.
- *Grafket 3*, referente à ocorrência de um novo pedido de descarga, figura 5.7.
- *Grafket 4*, referente ao procedimento de descarga, figura 5.8.
- *Grafket 5*, referente aos comandos de arranque e paragem do processo de descarga, figura 5.11.
- *Grafket 6*, referente ao funcionamento da válvula borboleta precedente à tremonha, figura 5.12.
- *Grafket 7*, referente ao funcionamento da válvula rotativa e do ar comprimido para o transporte, figura 5.13.
- *Grafket 8*, referente à configuração da tubagem, figura 5.9.

Assim como já se sucedeu no capítulo anterior para a modelação do Sistema de Alimentação de Contingência 4.2.4, a modelação aqui apresentada recorre a *Grafkets* hierárquicos, mais precisamente *enclosures*. Na secção 2.1 encontra-se explicado este mecanismo. Dado o número considerável de *Grafkets* envolvidos neste modelo, achou-se por bem mostrar desde já uma visão geral da hierarquia estabelecida entre estes (ver figura 5.4).

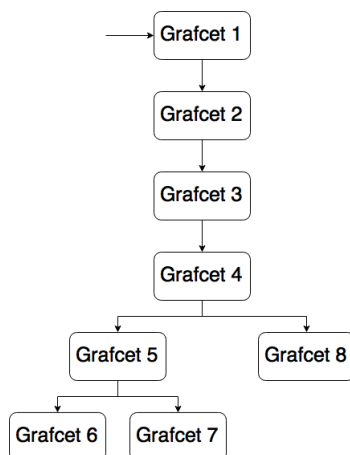


Figura 5.4: Hierarquia de *Grafkets*

Este é semelhante ao *Grafcet* inicial, possui igualmente dois estados e comuta entre estes graças a um interruptor de emergência (*EMR*). Caso o sistema entre em estado de emergência, estado (22), o modelo encontra-se impossibilitado de evoluir, caso contrário um novo *Grafcet* é invocado.

A especificação das *enclosures* dita que caso um determinado *Grafcet A* possua um estado (A1) e que por sua vez este estado contenha um *Grafcet B* subsequente, caso o estado (A1) passe de ativo para inativo, o *Grafcet B* irá ser igualmente desativado. Assim sendo, pode-se dizer que a evolução normal do sistema aqui modelado está condicionada desde logo por dois aspectos, a alimentação do sistema terá que estar ativa e o sistema não se pode encontrar em estado de emergência. Verificando-se estes dois aspectos o sistema encontra-se em condições de receber pedidos de descarga (ver figura 5.7).

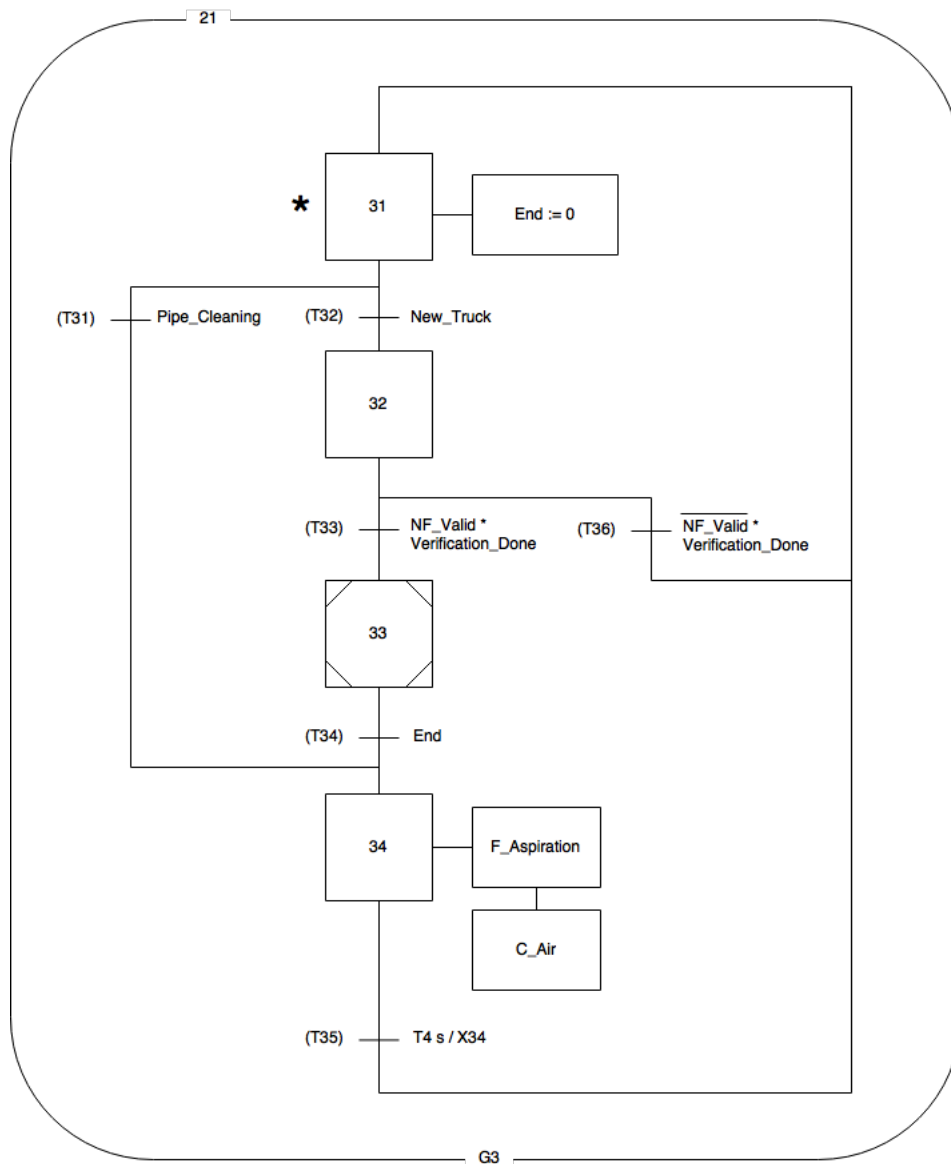


Figura 5.7: *Grafcet* 3, referente à ocorrência de um novo pedido de descarga

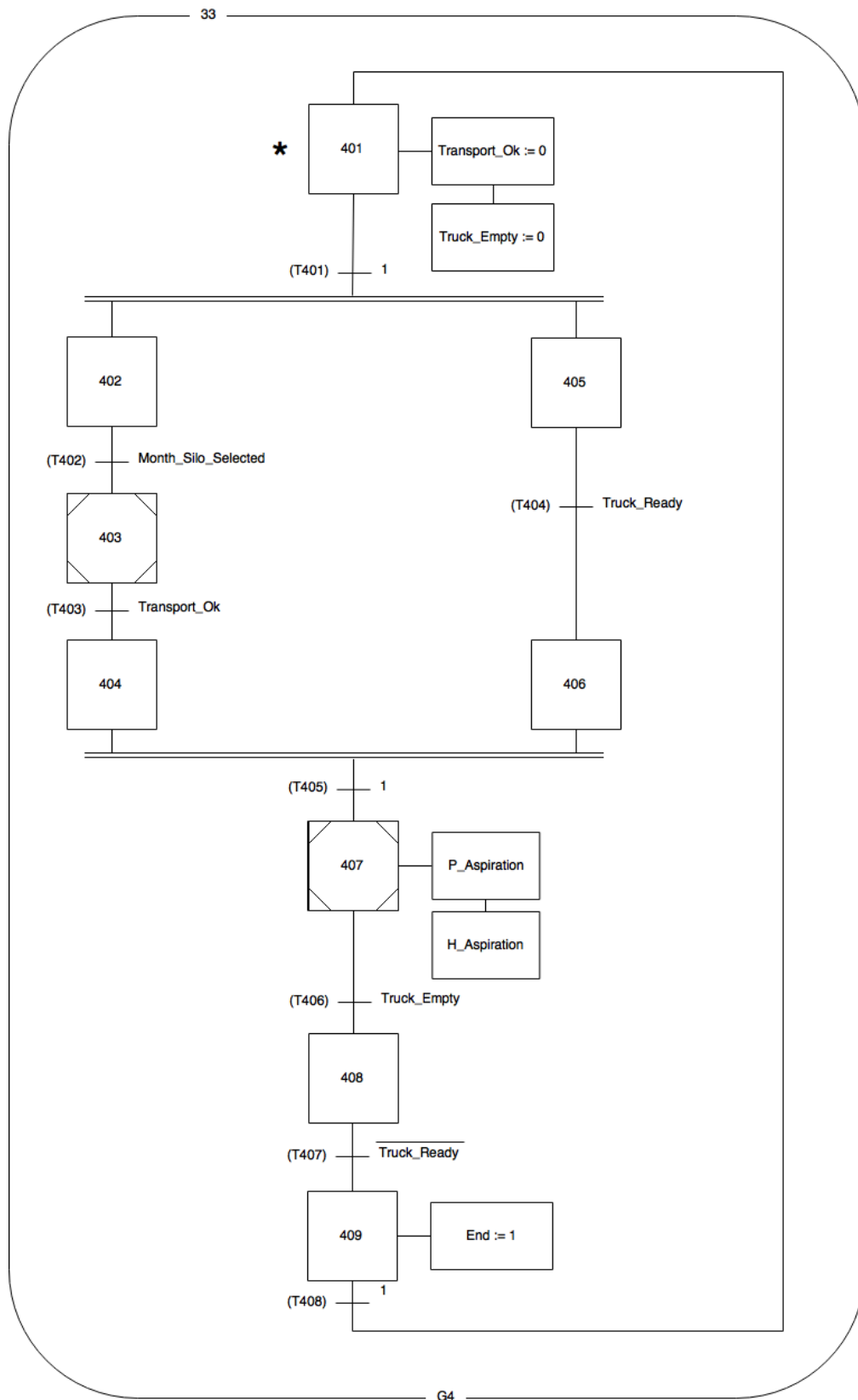


Figura 5.8: Grafset 4, referente aos preparativos para o processo de descarga

Neste novo *Grafcet 3* são controladas as chegadas dos camiões para descarga. Caso surja um novo camião (*New_Truck*) o sistema evolui para o estado (32). Neste estado será verificada em laboratório a qualidade do NF que irá ser descarregado. Assim que a verificação termina (*Verification_Done*) o NF é classificado como aprovado (*NF_Valid*) ou então como reprovado. Caso o NF tenha sido reprovado não ocorrerá descarga do material, retornando o sistema novamente ao estado (31). Caso contrário é ativado o estado (33) dando-se início aos preparativos para o processo de descarga, através da invocação do *Gracet 4*.

Antes de passar ao processo de descarga propriamente dito, *Grafcet 4*, é de notar que no estado seguinte à descarga, estado (34), ocorre a limpeza da tubagem de transporte. Aqui é ativado o ar comprimido da tubagem de transporte (*C_Air*) e a aspiração ao nível dos silos (*F_Aspiration*) durante um período de tempo estabelecido *T4*. O processo de limpeza da tubagem ocorre obrigatoriamente no final de cada descarga. Contudo este processo de limpeza poderá também ser executado individualmente sempre que o supervisor o entender, através do comando *Pipe_Cleaning*. Neste caso o sistema deverá encontrar-se no estado (31).

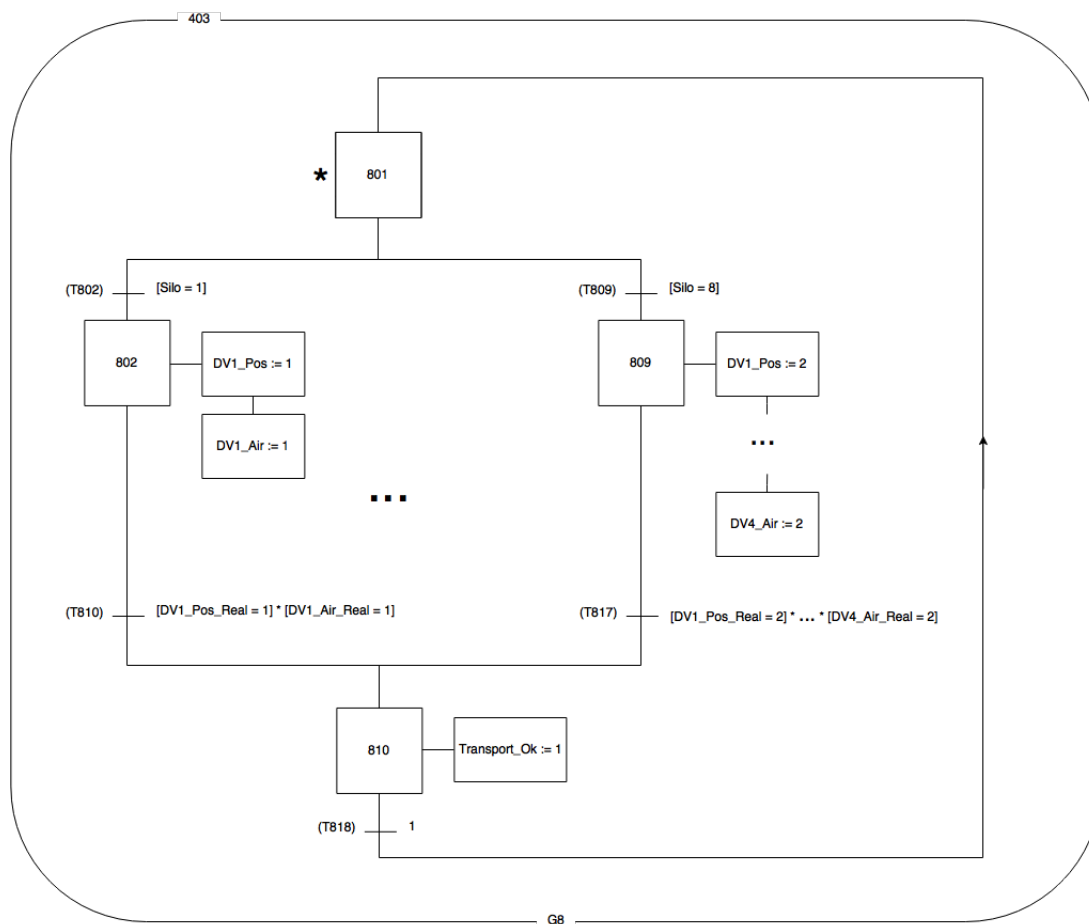


Figura 5.9: *Grafcet 8*, referente à configuração da tubagem

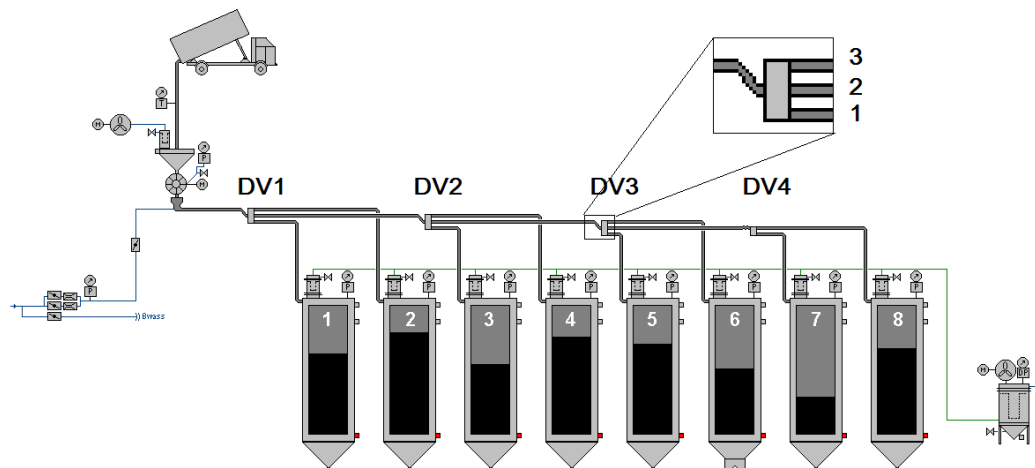


Figura 5.10: Esquema da EDA 1A, com legenda referente aos seus *diverters*

Uma vez verificada a qualidade do NF, poderá dar-se início aos preparativos para a descarga do material (ver figura 5.8). Como tal existem dois aspectos fundamentais que terão de ser cumpridos antes de se iniciar a descarga, nomeadamente, a configuração da tubagem tendo em conta o silo de armazenamento mensal selecionado e o acoplamento do caminhão à boca de descarga. Note que assim que invocado o *Grafcet 4*, o sistema transita de imediato para os estados (402) e (405), devido à condição lógica da transição T401 ser *True*.

O acoplamento do caminhão ocorre enquanto o estado (405) estiver ativo. De forma a proceder ao acoplamento do caminhão à boca de descarga é necessário em primeiro lugar que este se posicione na zona de descarga. Posto isto, o operador está agora em condições de acoplar corretamente o caminhão à boca de descarga. Confirmado o acoplamento, o operador deverá em seguida dar indicação à sala de controlo que o caminhão se encontra pronto, pressionando um botão (*Truck_Ready*). Após a confirmação o sistema evolui para o estado (406).

Ao contrário do acoplamento do caminhão, a configuração da tubagem constitui um processo automático. Como já foi descrito na secção 3.1, a tubagem que faz a ligação da zona de descarga até aos silos mensais está provida de válvulas seletoras de vias (*diverters*) que permitem encaminhar o material para os vários silos existentes. Para além da tubagem de transporte é necessário também configurar a tubagem de ar responsável pelo desencravamento/espaçamento do material. Assim sendo cabe ao supervisor selecionar o silo mensal que se pretende abastecer. Uma vez selecionado o silo alvo, a condição lógica *Month_Silo_Selected* passa a ter o valor lógico *True* e o sistema evolui para o estado (403) onde será invocado o *Grafcet 8*.

O processo de configuração da tubagem é modelado pelo *Grafcet 8*, figura 5.9. Este modelo encontra-se incompleto, no entanto a sua lógica é de fácil percepção quando acompanhada da consulta da figura 5.10. Na figura anterior, encontram-se identificadas as quatro válvulas seletoras de vias envolvidas. É possível configurar a posição de saída de cada uma destas válvulas através da escrita de uma variável associada a cada uma destas. A instrução $DV1_Pos := 1$, executada caso o silo selecionado seja o 1, traduz-se na configuração da válvula DV1 para a posição de saída 1. Observando novamente a figura 5.10, mais concretamente o zoom feito à válvula DV3, é possível

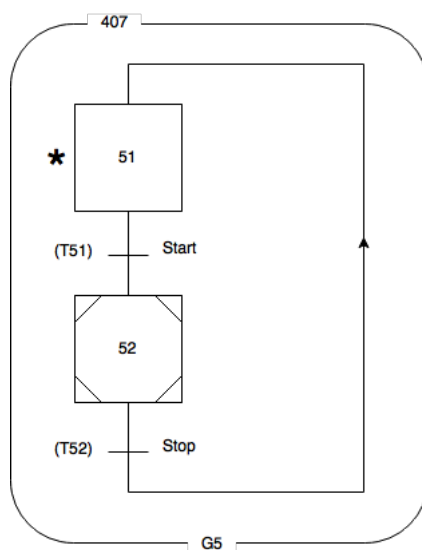


Figura 5.11: *Grafcet 5*, referente aos comandos de arranque e paragem do sistema

observar o número a que se refere cada posição, neste caso assumiu-se que a posição de saída 1 seria a de baixo, a posição 2 a saída intermédia e a posição 3 a saída de cima. No caso do silo selecionado ser o silo 1 é suficiente configurar a válvula DV1 para a sua primeira posição. No caso do silo 8 ser o selecionado teremos que configura as quatro válvulas para a saída 2. Cada silo possui uma configuração exclusiva das válvulas seletoras de vias.

Uma vez executada a instrução relativa à configuração da posição de saída, as válvulas deverão responder configurando-se de acordo com a informação que lhes foi transmitida. Por forma a identificar a posição real de saída de cada uma das válvulas, existem três detetores de presença inseridos em cada uma destas que permitem informar qual das saídas se encontra efetivamente configurada. Por exemplo, caso a válvula DV1 esteja desviar material para a posição de saída 3, a entrada DV1_Pos_Real assumirá o valor 3. Logo, assim que as posições escolhidas para as saídas das válvulas envolvidas coincidam todas com as posições reais lidas pelos detetores integrados nestas, a configuração da tubagem é dada como terminada e o sistema evolui para o estado (810). Note que o mesmo processo se sucede para a tubagem de ar que acompanha a tubagem de transporte, mudando apenas as designações das variáveis para DV1_Air e DV1_Air_Real, isto no caso da válvula 1.

No estado (810) é ativada a flag *Transport_Ok* de forma a avisar o sistema que a tubagem se encontra pronta. Logo que a tubagem fique pronta a transição T403 é disparada e o sistema evolui para o estado (404).

Cumpridos ambos os requisitos, ou seja os estados (404) e (406) encontram-se ativos, o sistema evolui para o estado (407) dando-se início ao processo de descarga. Neste estado é invocado o *Grafcet 5* (ver figura 5.11). Este *Grafcet* é responsável por modelar os comandos de arranque e paragem do processo de descarga recorrendo a apenas dois estados, o estado (52) onde o sistema se encontra a descarregar e outro onde o sistema se encontra parado, estado (51). Iniciando-se no estado de parado, o sistema poderá transitar para o estado a descarregar através do comando

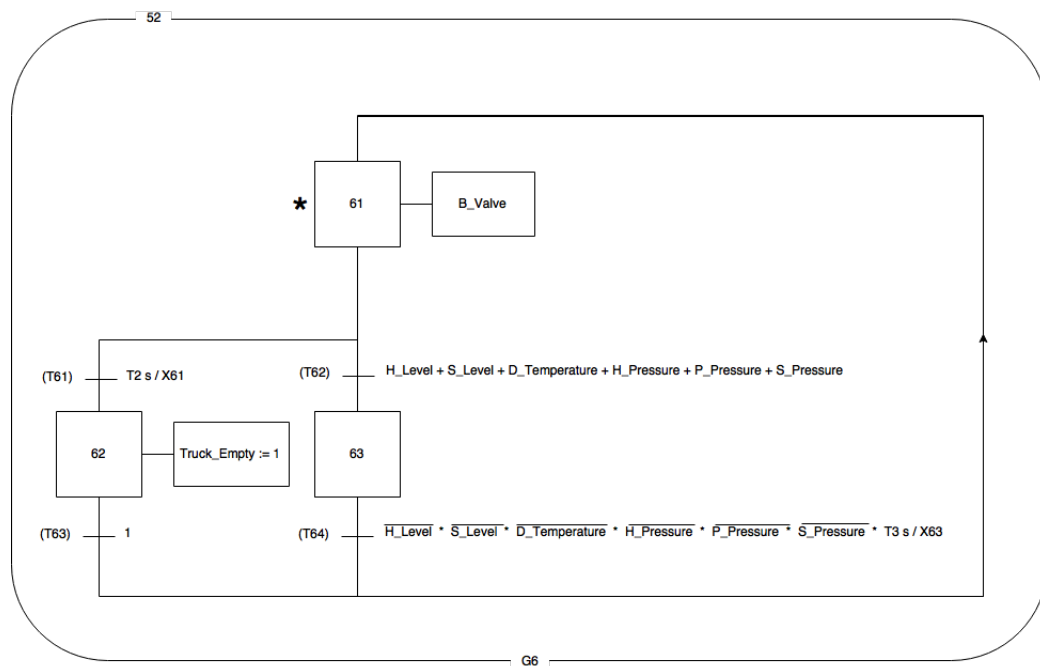


Figura 5.12: *Grafcet 6*, referente ao funcionamento da válvula borboleta precedente à tremonha

Start e poderá retornar novamente ao estado inicial através do comando *Stop*. É no estado em que o sistema se encontra a descarregar, o estado (52), que irão ser invocados os últimos *Grafcets* responsáveis pelo controlo das válvulas de descarga.

Note ainda que enquanto o estado (407) estiver ativo, a aspiração tanto ao nível da tremonha ($H_Aspiration$) como ao nível dos silos ($P_Aspiration$) estará também ativa.

Existem duas válvulas principais responsáveis pelo processo de descarga, a válvula borboleta precedente à tremonha e a válvula rotativa. No *Grafcet 6* é modelado o funcionamento da válvula borboleta precedente à tremonha. Em condições normais de descarga a válvula encontra-se aberta deixando passar o material, estado (61). Contudo determinados eventos poderão levar ao fecho da válvula, estado (63). A saída *B_Valve* assume o valor lógico *True* quando a válvula se encontra aberta. Em seguida encontram-se enumeradas as razões que podem levar ao fecho da válvula:

- Pressão demasiado elevada, seja ela na tremonha, na tubagem ou então nos próprios silos ($H_Pressure$, $P_Pressure$ e $S_Pressure$, respectivamente).
- Nível máximo de material nos silos, S_Level .
- Nível máximo de material na tremonha, H_Level .

É no *Grafcet 6* que é determinado o fim da descarga do camião. Enquanto o camião estiver cheio, o material à medida que flui para a tremonha tenderá a enchê-la ultrapassando assim o nível máximo de material nesta (H_Level). Como vimos, isto é razão para que a válvula borboleta se feche, deixando assim a tremonha descarregar o material que contém. Ao fim de um certo tempo estipulado $T3$ a válvula volta a abrir para encher novamente a tremonha, admitindo que nenhuma

das outras condições está ativa. Este tipo de descarga faseada facilita a fluência do material. Assim sendo, quando a tremonha deixar de ficar cheia por um período de tempo T2 o sistema evolui para o estado (62) e o camião é dado como vazio.

No *Grafcet 7* é modelado o funcionamento de elementos como a válvula rotativa e o ar comprimido para o transporte do material. Também aqui são estabelecidos limites para o funcionamento dos elementos anteriores, nomeadamente os mesmos que para a válvula borboleta à excepção do nível e pressão na tremonha. De facto não faria sentido parar a válvula rotativa caso o nível da tremonha excede-se o nível máximo ou a pressão desta fosse excedida.

Assim que o processo de descarga chega ao fim, o estado (62) é ativado. Neste é alterada uma flag booleana (*Truck_Empty*) para o valor lógico *True*, de forma a sinalizar o fim da descarga. Uma vez que a condição de disparo da transição T406 era apenas dependente do valor da variável *Truck_Empty*, o sistema irá evoluir para o estado (408). Com a desativação do estado (407) todos os *Grafcets* subsequentes a este associados são igualmente desativados.

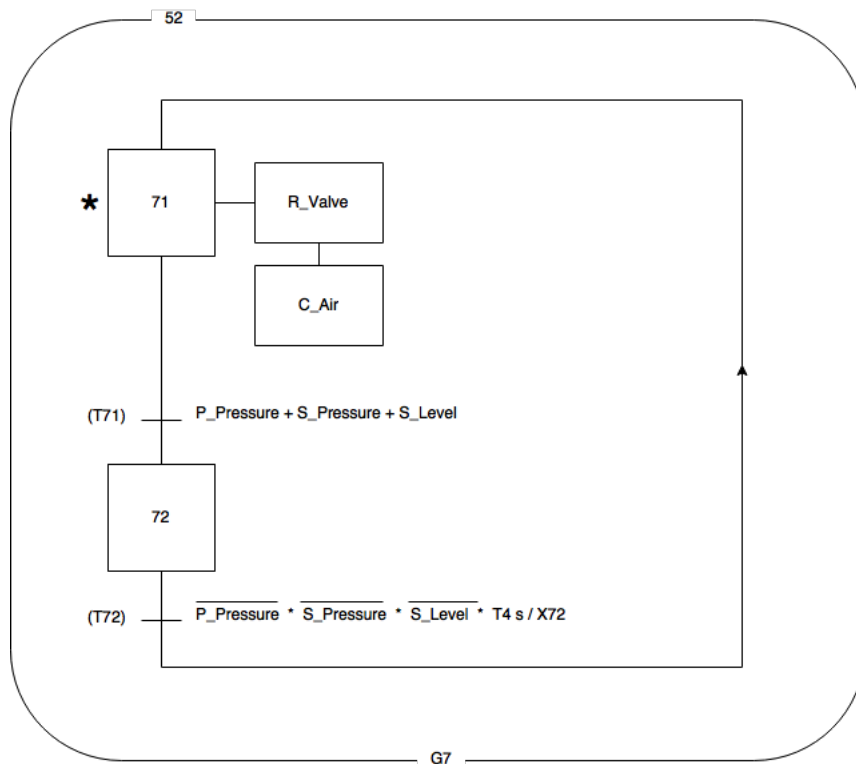


Figura 5.13: *Grafcet 7*, referente ao funcionamento da válvula rotativa e do ar comprimido para o transporte

Finalmente o camião deverá ser desacoplado no estado (408). Assim que este se encontra desacoplado a variável *Truck_Ready* assume o valor lógico *False* e consequentemente a transição T407 é disparada evoluindo o sistema para o estado (409). Neste estado a variável *End* passa a assumir o valor lógico *True* e consequentemente a transição T34 é disparada. Com o disparo desta transição o sistema evolui para o estado (34) havendo desativação dos *Grafcets* que se encontravam

associados ao estado (33). Como já foi referido, no estado (34) ocorre a limpeza e seguidamente o sistema volta ao estado (31) onde fica à espera de uma nova ordem.

5.3.2 Proposta

O Grafcet constitui uma linguagem de modelação e não de programação, daí este não poder ser diretamente implementado para controlar o sistema. Contudo existem algumas regras que permitem traduzir facilmente este tipo de linguagem de modelação em código propriamente dito. Claro está que o grau de convertibilidade do modelo irá depender diretamente da linguagem de programação que escolhermos. É um facto que existem linguagens de programação mais adequadas e para o qual é mais fácil converter, é o caso da linguagem gráfica SFC (*Sequential Function Chart*) definida na norma IEC61131-3.

À semelhança da linguagem de modelação *Grafcet*, a linguagem SFC também define estados com ações associadas, transições com condições lógicas e ligações diretas entre os estados e as transições existentes. Tal semelhança deve-se sobretudo ao facto da linguagem SFC ter sido baseada na linguagem de modelação *Grafcet*. Contudo existem também aspectos diferenciadores entre os dois tipos de linguagem, é o caso dos *Grafcets* hierárquicos. Embora a linguagem SFC não faça parte das linguagens base suportadas pela plataforma de programação *Step 7*, a Siemens disponibiliza a possibilidade de adquirir esta funcionalidade através da compra de um pacote extra, conhecido como *S7 Graph*.

Esta abordagem a uma eventual conversão dos modelos *Grafcet* em código justifica-se pois neste projeto é defendida a conversão manual da aplicação referente à EDA 1A. A preferência deste método de conversão ao método automático deve-se sobretudo devido às características do projeto de *upgrade* da Estação de Descarga e Armazenagem. Como já foi abordado antes, este *upgrade* não passa apenas por uma simples migração da plataforma de controlo referente à estação, envolve também uma renovação dos equipamentos (tremonha, válvula rotativa, etc) que se encontram obsoletos. Para além disto, estão previstas ainda novas funcionalidades como é o caso da aplicação de um leitor de código de barras junto da plataforma descarga do camião para identificação do tipo de NF. Tais factos irão levar a que haja uma alteração significativa da aplicação.

Recorrendo à conversão automática da aplicação, o programador para além de ter que confirmar o código convertido necessitaria ainda de fazer mudanças ao nível estrutural uma vez que serão usados novos equipamentos e novas funcionalidades serão requeridas. Assim sendo será preferível refazer a aplicação completa tendo em atenção todas as novidades do que fazer alterações, que se podem revelar confusas, numa aplicação antiga.

Independentemente do método adoptado para a conversão da aplicação referente à EDA 1A, a modelação aqui desenvolvida permitirá proporcionar ao programador uma explicação do modo de funcionamento do sistema, que será útil em qualquer dos casos.

Capítulo 6

Conclusão

Neste capítulo final serão sumarizados os principais resultados que foram obtidos ao longo deste projeto de dissertação. Estes resultados serão ainda confrontados com os objetivos iniciais.

Como havia sido proposto inicialmente, pretendia-se com este projeto de dissertação fazer um planeamento detalhado da migração da plataforma de controlo referente à antiga Estação de Descarga e Armazenagem de Negro de Fumo. Assim sendo e de forma a tornar a tarefa mais simples e clara, decompôs-se este objetivo principal num conjunto de objetivos intermédios equivalentes. Eis os objetivos intermédios identificados:

1. Estudo funcional e estrutural da EDA 1A bem como dos sistemas que a envolvem.
2. Planeamento de contingência necessário para a paragem da EDA 1A.
3. Elaboração da especificação técnica para a migração da plataforma de controlo referente à EDA 1A.

De facto para que seja possível fazer um planeamento minimamente rigoroso de uma situação é essencial em primeiro lugar ter conhecimento dos requisitos e considerações que essa situação implica. Foi desta necessidade que surgiu o primeiro objetivo intermédio. Face ao estudo de inúmeras fontes de informação relativas aos sistemas envolvidos, como é o caso dos esquemas P&ID, dos esquemas elétricos e das aplicações correspondentes, resultou uma descrição relativamente detalhada dos vários sistemas (Capítulo 3).

Assim que o modo de funcionamento dos sistemas se encontrava devidamente assimilado, procedeu-se à elaboração do plano de contingência para a paragem da EDA 1A (Capítulo 4). Nesta fase procurou-se encontrar as medidas que permitissem minimizar o impacto da paragem da EDA 1A. Como resultado desta procura foram identificadas duas medidas principais, nomeadamente, a expansão da EDA 1B aos restantes silos de armazenamento mensal e a recuperação dos inacabados sistemas de alimentação de contingência.

A expansão da EDA 1B aos restantes silos constitui uma medida obrigatória, pois esta permitirá que todos os silos continuem a ser abastecidos mesmo com a paragem da EDA 1A. Claro está

que embora esta medida constitua um investimento significativo, há que ter em conta o balanço final do projeto pois os eventuais prejuízos poderão muito bem justificar o investimento.

A segunda medida passaria pela recuperação dos SAC. Dada a capacidade destes sistemas permitirem o abastecimento direto dos silos diários, seria importante que estes estivessem prontos a operar na altura da migração da plataforma de controlo. Estes serviriam como medida de prevenção na eventualidade de vir a surgir algum problema ao nível dos silos mensais. Por forma a apoiar a recuperação dos SAC elaborou-se a especificação detalhada para o funcionamento destes. Esta especificação incluiu a modelação do funcionamento dos sistemas recorrendo à linguagem *Gravcet*, discussão de eventuais melhorias e o desenvolvimento detalhado de uma interface Homem-Máquina adequada aos mesmos. Uma vez concluído o projeto de dissertação pôde-se afirmar que esta fase foi sem dúvida a mais longa, principalmente devido ao desenvolvimento detalhado da interface Homem-Máquina adequada aos SAC.

Como último objetivo tínhamos a especificação técnica da nova plataforma de controlo (Capítulo 5). Desde logo começou-se por decompor esta tarefa em duas fases, a especificação do hardware e a especificação do software. Na primeira fase, fez-se o levantamento da plataforma de controlo existente e tendo em conta os requisitos estabelecidos para a nova plataforma apresentou-se uma proposta concreta para esta plataforma. Na segunda fase, sugeriu-se a adopção do método de conversão manual da aplicação e procedeu-se ainda à modelação da EDA 1A de forma a auxiliar o programador no processo.

Confrontando os objetivos que haviam sido propostos com os resultados obtidos, pode-se afirmar que o projeto foi relativamente bem sucedido.

Anexo A

Anexos

A.1 Especificação da Interface Homem-Máquina

A.1.1 Tabela de Conteúdos

1. Introdução
 - (i) Contextualização
 - (ii) Missão
 - (iii) Cenários Operacionais
 - (iv) Características dos utilizadores
2. Aspectos Gerais
 - (i) Estilo
 - (ii) Mapa de Navegação
 - (iii) Template
 - (iv) Displays
 - (v) Gestão de Alarmes
 - (vi) Botões
 - (vii) Plataforma
3. Especificação Detalhada
 - (i) Template
 - (ii) Display - Big Bag Station
 - (iii) Display - Settings
 - (iv) Rascunhos
4. Conclusão

A.1.2 Introdução

Este documento foi redigido no âmbito da dissertação "Upgrade de Estação de Descarga e Armazenagem de Negro de Fumo" com o objetivo de providenciar a especificação da interface Homem-Máquina referente ao Sistema de Alimentação de Contingência.

A.1.2.1 Contextualização

O Sistema de Alimentação de Contingência (SAC) encontra-se inserido num sistema maior responsável pela alimentação de linhas de mistura para produção de borracha. Em condições normais, a alimentação dessas linhas é feita a partir de uns silos de grandes dimensões (silos mensais) sendo o material transportado desses silos até aos silos de pequenas dimensões referentes

a cada uma das linhas de misturação (silos diários). Contudo, caso não existam condições para que o abastecimento ocorra do modo normal está previsto que o SAC seja uma alternativa válida no abastecimento das linhas de misturação, ainda que provisória. A interface Homem-Máquina deverá estar disponível na sala de controlo.

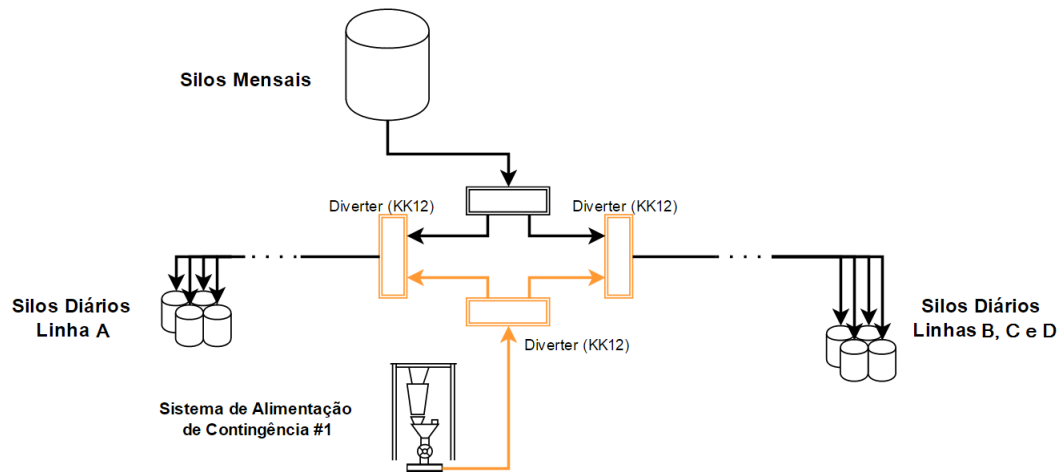


Figura A.1: Enquadramento relativo ao enquadramento do SAC

A.1.2.2 Missão

A interface Homem-Máquina a ser desenvolvida tem como missão providenciar uma interface intuitiva, simples e funcional do Sistema de Alimentação de Contingência ao utilizador, de forma a permitir um controlo, monitorização e manutenção eficiente do sistema por parte do mesmo, garantindo assim que o processo de descarga decorra dentro requisitos estabelecidos.

A.1.2.3 Cenários Operacionais

Os cenários operacionais que poderão vir a ocorrer ao nível do SAC são:

- *Arranque do SAC*

O arranque do sistema ocorre com a ativação da alimentação. Isto é possível através de um interruptor manual existente junto da estação de descarga. Por forma a que este sistema se encontre pronto a operar/descarregar, o utilizador deverá indicar que pretende utilizar o SAC ao invés do abastecimento em modo normal. Isto deverá ser indicado ao nível da interface Homem-Máquina. Esta tarefa é executado pelo operador mediante pedido do supervisor.

- *Descarga de Big Bag*

Uma vez que o SAC esteja pronto a operar, poderá dar-se início ao processo de descarga. O processo de descarga implica a intervenção de dois elementos, um operador junto da plataforma de descarga e o supervisor na sala de controlo. Como primeiro passo, deverão ser inseridos os dados de descarga nomeadamente, o tipo de NF a descarregar e a linha

de mistura a abastecer. Posto isto, o HMI deverá verificar a compatibilidade dos dados inseridos, retornando a identificação do silo diário a abastecer caso a informação seja compatível ou então caso isto não suceda o HMI deverá alertar o supervisor para que este tome conhecimento da incompatibilidade. Caso a informação seja compatível, o operador poderá avançar com o processo de descarga, elevando o *big bag* até à posição de descarga. Assim que este se encontra em posição, o operador deverá informar o supervisor premindo um botão próprio para este efeito. Logo que o supervisor verifique que todas os requisitos estão cumpridos este poderá iniciar o processo de descarga através do comando *Iniciar* presente na interface Homem-Máquina.

- *Monitorização do SAC*

A monitorização do sistema é uma tarefa contínua que se encontra a cargo do operador. O sucesso desta tarefa está completamente dependente da informação disponibilizada ao nível da interface Homem-Máquina. Existe um conjunto de informações que a interface deverá garantir para que a tarefa de monitorização seja executada corretamente, nomeadamente a informação relativa:

- Aos sensores e atuadores presentes na plataforma de descarga.
- Às válvulas de ar responsáveis pelo *bypass* e transporte do material.
- Aos *diverters* existentes na tubagem de transporte até aos silos.
- Aos sensores de pressão e de nível existentes nos silos diários.
- Ao estado em que se encontra o sistema (a descarregar, parado, com falha, etc).

Estes serão os principais aspectos que terão de ser tidos em conta durante o processo de monitorização.

- *Resolução de eventuais falhas*

Um dos objetivos da tarefa de monitorização é detetar anomalias que possam surgir ao nível do SAC. Por vezes essas anomalias podem constituir falhas do equipamento que poderão comprometer o correto funcionamento do SAC. Assim sendo existe a necessidade de resolver estas falhas.

Como tal deverão ser implementadas medidas de forma a resolver esses problemas. Nesse sentido a interface deverá providenciar a possibilidade de parar o processo de descarga a qualquer momento, e para além disso deverá permitir que a válvula rotativa seja ativada de forma independente, isto é, sem que seja necessário iniciar o processo de descarga.

- *Configuração de parâmetros*

O HMI deverá ainda permitir a configuração de um conjunto de parâmetros do sistema. Desde logo deverá permitir comutar entre dois modos de configuração, o modo automático e o modo manual. No modo automático os parâmetros são configurados automaticamente

pelo HMI, tendo em conta o silo diário que se pretende abastecer e o tipo de NF a descarregar. Por outro lado no modo manual, cabe aos técnicos responsáveis fazerem a inserção dos vários parâmetros. Os parâmetros do sistema que deverão ser configuráveis são:

- O fluxo de ar para transporte do material.
 - O fluxo de ar para desencravamento/espçamento do material.
 - A velocidade da válvula rotativa.
- *Desativação do SAC*

A desativação do SAC passa simplesmente pelo corte da sua alimentação. Claro está que a desativação só deverá ocorrer assim que o sistema se encontre pronto para tal, isto é, o sistema não deverá ser desativado, por exemplo, enquanto este estiver a descarregar. Tal não invalida que haja situações em que isto se venha a justificar. Esta tarefa é executado pelo operador mediante pedido do supervisor.

A.1.2.4 Características dos Utilizadores

A interface Homem-Máquina a desenvolver deverá considerar dois tipos de utilizadores:

- *Operadores*, responsáveis pelo controlo e monitorização do sistema. Embora por vezes consigam resolver eventuais falhas que não justifiquem a intervenção dos técnicos, estes não deverão ter acesso aos displays de manutenção e calibração do HMI. Note que o supervisor deverá ser assumido como sendo um operador.
- *Técnicos de controlo e instrumentação*, responsáveis pelas tarefas de resolução de falhas e calibração dos parâmetros de funcionamento do sistema. Assim sendo terá que ser garantido a estes um nível de autorização superior àquela que os operadores possuem.

A.1.3 Aspetos Gerais

Iremos agora definir os aspetos gerais que a interface Homem-Máquina deverá procurar seguir.

A.1.3.1 Estilo

De forma a manter todas as interfaces Homem-Máquina presentes na sala de controlo uniformizadas, o estilo a adoptar para o novo HMI deverá ser semelhante ao estilo das interfaces já existentes.

Em geral a aparência adoptada pelas restantes interfaces consiste numa aparência simples em tons de cinza, com uma barra lateral para os comandos gerais e uma tabela em rodapé para os alarmes. A este template foram feitas algumas alterações por forma a atingir o resultado final. Essas alterações resumem-se à adição de uma barra de estados no topo do ecrã e os comandos de navegação foram colocados no canto inferior direito do mesmo. O template previsto para o HMI aqui especificado encontra-se representado na figura [A.3](#).

Tome em atenção as zonas definidas na figura A.3 e as respectivas cores que as representam, pois estas serão abordadas no decorrer da especificação.

A.1.3.2 Mapa de Navegação

A interface Homem-Máquina deverá ser constituída por quatro displays principais, sendo eles:

- *Estação de Big Bags*
- *Transporte*
- *Alarmes*
- *Definições*

Estes displays serão exibidos na zona a castanho, ver figura A.3, mediante escolha do utilizador. Note que as restantes zonas definidas no template serão fixas para todos estes displays. O utilizador por sua vez poderá navegar entre os vários displays recorrendo a um conjunto de quatro botões existentes no canto inferior direito do template (zona a vermelho). Óbvio será dizer que a cada botão está associado um display.

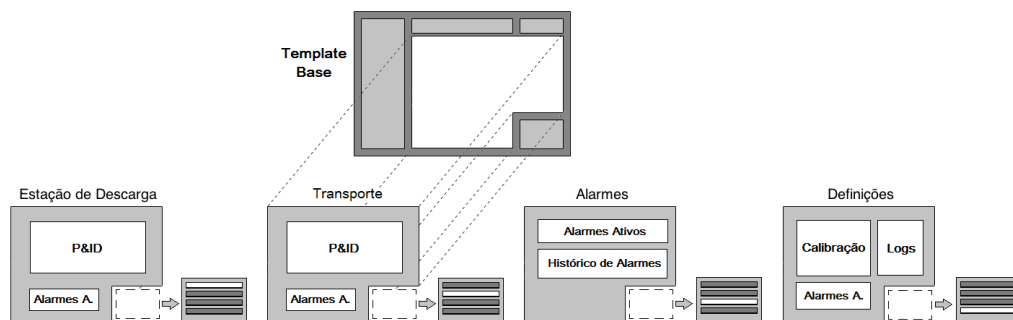


Figura A.2: Mapa de Navegação

A figura A.2 faz um breve resumo daquilo que seriam os vários displays, contendo até informação relativa a cada um deles que ainda não foi aqui abordada. O importante a reter por agora é a forma de navegação entre os vários displays.

Para além destes quatro displays seria boa opção criar ainda um display extra que funcionasse como visão geral do sistema. Este display ao contrário dos anteriores não recorreria ao template, e poderia ser acedido através de um típico botão *Home* localizado também na zona a vermelho do template.

A.1.3.3 Convenções


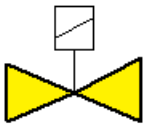


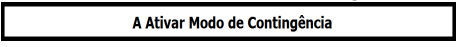
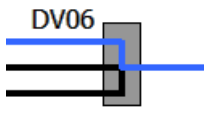
A cor é um elemento fulcral para que haja uma boa perceptibilidade da informação exibida na interface. Em seguida encontram-se descritas boas práticas para a utilização da cor.

- Usar o mínimo número de cores e de forma consistente entre os vários displays;

- Usar o vermelho e o amarelo apenas para alarmes;
- Assegurar que as combinações de cor proporcionam um contraste aceitável;
- Usar uma cor de fundo que maximize a perceptibilidade.

A convenção de cores que deverá ser utilizada na clarificação do HMI é a habitualmente utilizada. Na tabela A.1 estão representadas algumas das cores possíveis e suas simbologias.

Tabela A.1: Simbologia de Cores

Cor	Simbologia	Exemplo
Verde	<ul style="list-style-type: none"> • A operar normalmente; • Aberto; • Ativo; 	<p>Motor a funcionar corretamente.</p> 
Amarelo	<ul style="list-style-type: none"> • Precaução; • Aviso; • Situação anormal; 	<p>Válvula em estado anormal.</p> 
Vermelho	<ul style="list-style-type: none"> • Parar; • Falha; • Fechado; 	<p>Pressão excedida.</p> 
Cinza	<ul style="list-style-type: none"> • Inativo; • Parado; 	<p>Sistema de contingência parado.</p> 
Branco	<ul style="list-style-type: none"> • A transitar de estado; • Mensagens do sistema; 	<p>A ativar o sistema de contingência.</p> 
Ciano (Azul claro)	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamento em serviço; • Labels importantes; 	<p>Tubagem a transportar material.</p> 

A.1.3.4 Template

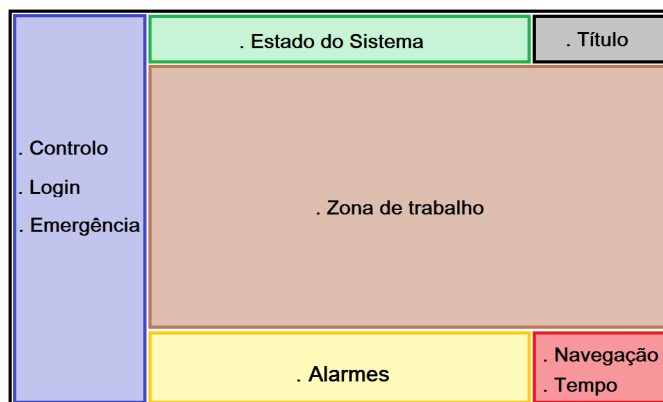


Figura A.3: Template

Como é possível constatar na figura A.3, o template escolhido pode ser dividido em seis zonas. Cada uma dessas zonas possui um propósito diferente.

- Zona a azul, está destinada ao log on/off de utilizadores, ao sinalizador da alimentação e ao comando de emergência. Além disto é aqui que se deverão localizar os comandos base de controlo do sistema.
- Zona a verde, diz respeito à barra de estados. Esta, como o próprio nome indica, é responsável por informar o utilizador do estado em que o SAC se encontra. Na tabela A.3 encontram-se resumidos os vários estados que podem ser apresentados na barra de estados.

Note que o estado de paragem de emergência deverá piscar, através da alternância de cores, de forma a que capte mais facilmente a atenção do utilizador.

- Zona a amarelo, deverá exibir uma tabela com os alarmes ativos do sistema.
- Zona a cinzento, tem como objetivo evidenciar o nome do sistema que a interface controla.
- Zona a castanho, é a única zona que não é fixa e destina-se aos vários displays que foram definidos para controlo do SAC.
- Zona a vermelho, encontra-se reservada aos comandos de navegação entre os vários displays.

Tabela A.2: Estados do sistema

Estado	Descrição	Exemplo
Parado	Parado mas pronto a iniciar/retomar processo de descarga.	
A Descarregar	O SAC encontra-se em funcionamento.	
<i>Big Bag</i> Pronto	O <i>big bag</i> encontra-se na posição de descarga.	
A Parar	A interromper o processo de descarga.	
Falha	Falha detetada no SAC	
Modo de Contingência Desligado	SAC desativo.	
A Ativar o Modo de Contingência	A comutar o modo de abastecimento para o modo contingência.	
A Desativar o Modo de Contingência	A comutar o modo de abastecimento para o modo normal.	
Paragem de emergência	Interrupção imediata do SAC.	

A.1.3.5 Displays

Como já vimos anteriormente, a zona de trabalho do nosso template (zona a castanho) pode exibir quatro displays diferentes. Os aspetos gerais de cada um destes serão abordados em seguida.

Na figura A.2, é possível observar dentro de cada display que tipo de elementos este deverá conter.

- Estação de Big Bags

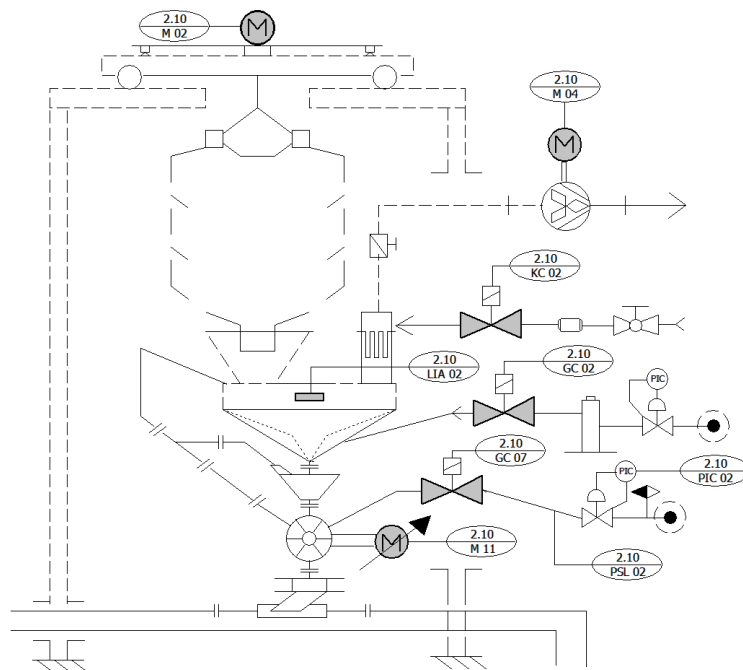


Figura A.4: Esquema PID referente à estação de Big Bags

Este display diz respeito sobretudo à monitorização dos vários elementos/equipamentos que constituem a estação de descarga. Estes elementos encontram-se descritos na subsecção 4.2.1 da dissertação.

Como tal e de forma a que o processo de monitorização seja simples e intuitivo achou-se por bem que a estação deveria ser representada ao nível da interface através do seu diagrama P&ID correspondente, ver figura A.4.

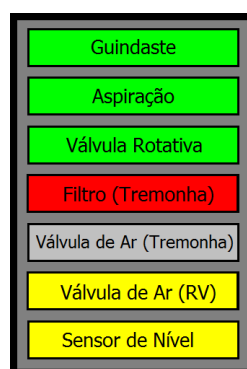


Figura A.5: Legenda referente ao esquema PID da estação de descarga

Relativamente ao esquema P&ID, os sensores/atuadores que o HMI deverá ser capaz de monitorizar estão preenchidos a cinza. De modo a representar o estado dos equipamentos será boa prática recorrer àquilo que já foi abordado ao nível das convenções de cor, ou seja,

quando se quiser representar uma válvula que se encontra com uma falha não prioritária esta deverá ser preenchida a amarelo, por exemplo.

Para além da representação P&ID e de forma tornar o sistema mais claro, sugeria-se a introdução de uma espécie de legenda do mesmo. Essa legenda poderia até acompanhar o estado do equipamento que representa, ver figura A.5.

- *Transporte*

No display referente ao transporte é importante representar o trajeto desde a estação de descarga até aos silos diários. Dada a elevada quantidade de informação é aconselhável a simplificação do esquema fazendo apenas indicação dos sensores/atuadores que influenciam diretamente o transporte do material. Assim sendo foram definidos um conjunto de sensores/atuadores que deverão estar presentes na representação.

- Válvulas de ar referentes ao transporte do material;
- Válvulas de ar referentes ao espaçamento/desencravamento do material (*Bypass Valves*);
- Válvulas seletoras de vias (*Diverters*);
- Sensores de pressão associados aos silos diários alvo (*daybins*);
- Sensores de nível máximo referentes aos silos diários alvo;

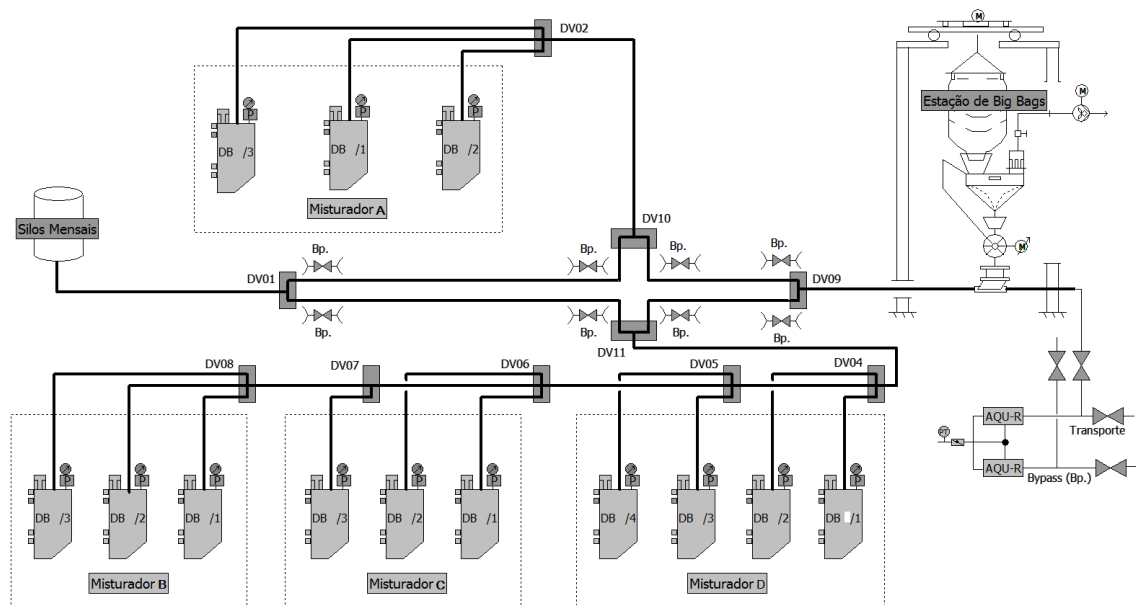


Figura A.6: Esquema referente ao transporte do material.

Óbvio será dizer que cada um destes elementos deverá ser colorido consoante o seu estado e o código de cores definido. Também a tubagem de transporte deverá ser um elemento dinâmico, apresentando uma cor diferente (por exemplo, ciano) enquanto estiver a transportar

material. Na figura A.6 é possível observar um exemplo de como poderia ser a representação do trajeto em questão.

Note ainda que a representação do sistema de transporte na figura A.6, inclui ainda uma parte da tubagem relativa ao abastecimento das linhas de mistura em condições normais, ou seja, recorrendo aos silos mensais. Isto é de certa forma desnecessário, no entanto dá uma visão mais alargada da situação em que se encontra o sistema.

- *Alarmes*

O display referente aos alarmes deverá conter dois elementos principais, uma tabela com os alarmes ativos e uma segunda tabela com o histórico dos alarmes. A tabela relativa ao histórico de alarmes deverá ocupar a maior parte do espaço disponível uma vez que esta por norma irá conter uma maior quantidade de informação.

As tabelas de alarmes deverão suportar vários tipos de entradas, nomeadamente:

- Avisos ou falhas de menor prioridade, exibidas a amarelo.
- Falhas de maior prioridade, exibidas a vermelho intermitente.
- Mensagens do sistema, exibidas a branco.

Na figura A.7 encontra-se representada uma tabela de alarmes com os três tipos de entradas existentes. Ter em atenção também os vários tipos de informações que são dados acerca de cada entrada, dos quais destacam-se a hora, a data, o estado do alarme (ativo, inativo, reconhecido) e a descrição do mesmo.

Alarmes Ativos

No.	Time	Date	Status	Text
6	3:50:46 PM	6/18/2015	C	Falha - Motor Válvula Rotativa
5	3:50:46 PM	6/18/2015	C	Falha - Motor Aspiração
18	3:52:32 PM	6/18/2015	C	Aviso - O tipo de negro de fumo identificado não é compatível com o mi...

Figura A.7: Tabela de alarmes exemplificativa.

- *Definições*

Este display encontra-se diretamente relacionado com a tarefa de *Configuração de parâmetros* enunciada anteriormente aquando dos cenários operacionais, A.1.2.3.

O display referente às definições do sistema apenas deverá poder ser acedido por utilizadores que tenham um nível de autorização igual ou superior àquela que os técnicos de controlo e instrumentação possuem. Vejamos a proposta apresentada para este display na figura A.8.

Para cada um dos três aspectos a configurar existem três parâmetros, o valor de *setpoint*, o valor real/lido, e o limite estabelecido. O valor de *setpoint* é o valor que se pretende atingir para essa característica do sistema. O valor real/lido é o valor que essa característica apresenta realmente. Por fim, o limite estabelecido é a diferença máxima em módulo que poderá existir entre o valor de *setpoint* e o valor real, sem que ocorra alarme.

The image shows a control interface titled "Modo Manual" with four main sections:

- Ar Comprimido - Transporte:** Setpoint: 80, Real: 86 (highlighted in red), Limite: 5.
- Válvula Rotativa - Velocidade:** Setpoint: 70, Real: 64 (highlighted in yellow), Limite: 5, and an "Ativar" button.
- Ar Comprimido - Bypass:** Setpoint: 90, Real: 94, Limite: 5.
- Log Inativo:** "Iniciar" and "Parar" buttons, and a larger "Ativar Modo Automático" button at the bottom.

Figura A.8: Configuração dos parâmetros de funcionamento do sistema

Na figura A.8, é possível visualizar as três situações que podem suceder. No caso da pressão de ar referente ao transporte, o valor real excede o valor de setpoint num valor superior ao limite estabelecido, originando assim um alarme. A situação da válvula rotativa também deverá despoletar um alarme no entanto aqui o valor real fica aquém do valor do *setpoint*. Por outro lado a pressão de ar referente ao *bypass* do material encontra-se dentro dos limites estabelecidos.

Note que os valores representados na figura A.8 são valores arbitrários usados apenas para exemplificar. Estes valores deverão ser representados segundo as grandezas de pressão (bar) e velocidade angular (rpm).

Existe ainda a opção de configurar automaticamente ou manualmente os parâmetros do sistema, através da comutação de estado de um botão. No modo automático, e consoante o silo diário escolhido e o tipo de NF a descarregar, a interface deduz automaticamente os valores de *setpoints* e limites aconselhados. Por outro lado, no modo manual os dados são inseridos pelo utilizador.

No espaço relativo à válvula rotativa é possível ainda observar um botão que permite a ativação/desativação da válvula rotativa. Esta deverá ser uma característica do sistema por questões de manutenção.

Por último temos a opção de iniciar ou terminar a execução de log do sistema. Os logs deverão conter todos os tipos de eventos sejam eles avisos, falhas e mensagens do sistema. Relativamente a cada entrada o log deverá conter pelo menos os mesmos campos que foram mencionados para as entradas das tabelas de alarmes.

A.1.3.6 Gestão de Alarmes

De facto a existência de um display dedicado aos alarmes não é de todo suficiente para que haja um controlo eficaz dos alarmes. Assim sendo em cada um dos restantes displays deverá ser implementada uma tabela de alarmes em rodapé, de forma a que em cada momento o utilizador

esteja apto a reconhecer os alarmes ativos. A tabela de alarmes deverá ser semelhante à existente no display dedicado aos alarmes.

Os alarmes relativos aos sensores/atuadores do sistema deverão ser representados não só ao nível do esquema como também ao nível da tabela de alarmes. O reconhecimento dos alarmes é feito recorrendo ao comando *Acknowledge Fault* que se encontra na barra lateral esquerda do template (zona a azul). A única condicionante para o reconhecimento dos alarmes é o utilizador ter iniciado sessão. Isto funciona como medida de segurança de forma a que não sejam reconhecidos alarmes sem o conhecimento do utilizador responsável pelo sistema.

A.1.3.7 Botões

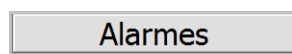


Figura A.9: *Layout* de botão

Na figura A.9, está representado um exemplo de *layout* para os botões. O layout apresentado distingue-se claramente do fundo em que se insere e além disso a legenda a este associada é facilmente legível.

Na tabela A.3 encontram-se sumarizados os comandos que deverão permanecer fixos na barra lateral esquerda do template. Estes são os comandos principais do sistema uma vez que estes são responsáveis pelo controlo da estação de descarga. Dada a sua importância sugere-se que estes comandos apenas sejam acedidos com autorização igual ou superior à de um operador, obrigando assim o utilizador a iniciar sessão.

Tabela A.3: Comandos localizados na barra lateral esquerda do template (Zona a azul)

Comando	Descrição
Iniciar	Dá início ao processo de descarga.
Parar	Interrompe o processo de descarga.
Reconhecer Falhas	Informa o sistema que o utilizador teve conhecimento dos alarmes existentes.
Misturador Selecionado	Permite ao utilizador qual é a linha de misturação a abastecer.
Ativar/Desativar Modo de Contingência	Permite ao utilizador habilitar/desabilitar o modo de contingência.

Para além dos comandos de controlo, seria boa prática implementar também um comando de emergência ao nível do HMI. Assim sendo o estado de emergência do sistema resultaria de um *Ou* lógico entre o comando de emergência físico e o comando de emergência implementado na

interface. A aparência deste comando deverá passar por um botão vermelho em fundo amarelo, como ditam as normas.

Tabela A.4: Comandos de navegação (Zona a vermelho)

Comando	Descrição
<i>Home</i> (opcional)	Dá acesso ao ecrã inicial.
Estação de <i>Big Bags</i>	Permite aceder ao display referente à monitorização da estação de <i>big bags</i> .
Transporte	Permite aceder ao display referente à monitorização do transporte do material.
Alarmes	Permite aceder ao display de alarmes.
Definições	Permite aceder ao display referente às definições do sistema.

Na tabela A.4 estão enunciados os botões necessários à navegação entre os vários displays. Destes apenas o comando relativo às definições do sistema é que se encontra protegido, sendo necessária autorização igual ou superior àquela que os técnicos de controlo e instrumentação possuem. Assim sendo deverá ser possível alternar entre os restantes displays sem necessitar de iniciar sessão. No que toca aos comandos de controlo mencionados na tabela A.3, estes só deverão ser acedidos com sessão iniciada, ou seja, autorização igual ou superior à de um operador.

Tabela A.5: Comandos secundários

Comando	Descrição	Localização (Display)
Detalhes	Permite ver/ocultar as labels associadas aos esquemas P&ID	Estação de <i>Big Bags</i> / Transporte
Limpar Histórico de Alarmes	Limpa o histórico de alarmes existente.	Alarmes
Ativar Modo Manual/Automático	Permite comutar entre o modo automático e manual de configuração dos parâmetros do sistema.	Definições
Ativar/Desativar	Permite ativar/desativar a válvula rotativa.	Definições

Para além destes, deverão existir ainda um conjunto de botões secundários, tabela A.5. Visto que o display *Definições* apenas poderá ser acedido por técnicos de controlo e instrumentação ou utilizadores com autorizações superiores a estes, os botões inseridos neste display irão herdar

consequentemente o mesmo nível de proteção. Dos restantes botões, é importante garantir apenas que o botão *Limpar Histórico de Alarmes* só é acedido com sessão iniciada.

A.1.3.8 Plataforma

A plataforma que irá suportar a interface Homem-Máquina será um computador comercial normal a correr o sistema operativo Windows 7 Ultimate SP1 32Bit. Este localizar-se-á na sala de controlo, não havendo assim necessidade de se recorrer a um computador com características especiais para ambientes industriais. Os periféricos de input que serão disponibilizados são um teclado e um rato com as características standard.

A.1.4 Especificação Detalhada

A.1.4.1 Template

Aquando da descrição das várias zonas que dividem o template adoptado mencionou-se que a zona a azul, barra lateral esquerda, continha os comandos de controlo, o indicador da alimentação do sistema, o comando de emergência e o log on/off de utilizadores. Destes, apenas os comandos de controlo e o de emergência, foram abordados mais detalhadamente até agora.

Quanto ao indicador de alimentação este deverá manter a máxima simplicidade possível e deverá encontrar-se de acordo com a simbologia de cores definida. Na figura A.10 segue-se um exemplo de uma luz responsável por indicar se a alimentação está a ocorrer.



Figura A.10: *Layout* de indicador luminoso referente à alimentação do sistema

Quanto ao log on/off, deverá ser garantido um botão que permitirá iniciar sessão quando não existe sessão iniciada e no caso de o utilizador se encontrar com sessão iniciada este deverá permitir fechar a sessão. Para além deste botão, deverá ser implementado igualmente uma caixa de texto que permitirá expor o nome do utilizador que se encontra com sessão iniciada (operator, maintainer, admin, etc).



Figura A.11: Exemplo de sistema log on/off

A.1.4.2 Display - Big Bag Station

Como já foi referido anteriormente, o display referente à estação de descarga deverá providenciar um bom suporte à tarefa de monitorização desta parte do sistema.

De forma a dar apoio à tarefa de início do processo de descarga e tendo em conta que este é o display mais apropriado para esse efeito, deverá ser implementada uma caixa de texto responsável por exibir o tipo de Negro de Fumo identificado para descarga. Ou seja, logo após o operador terminar o processo de identificação recorrendo ao leitor de código de barras o sistema deverá transpor-la para a interface de modo a que o operador se encontre em condições de confirmar a informação.

De modo a iniciar o processo de descarga, o operador deverá especificar dois aspectos, o tipo de NF e a linha de misturação a abastecer. Uma vez identificado o NF, o operador deverá escolher a linha de misturação a abastecer recorrendo a uma caixa de opções. Essa caixa de opções, que deverá permitir seleccionar as várias linhas de misturação, foi idealizada para estar disposta na barra lateral esquerda do template. No entanto esta poderia vir a ser implementada no display referente à estação de *big bags* caso se viesse a justificar.

Assim que ambos os dados forem inseridos, a interface Homem-Máquina deverá verificar a compatibilidade dos dados inseridos e caso esta se verifique deverá retornar a identificação do silo a abastecer. No caso do WinCC Flexible 2008 esta verificação é possível através da execução de um script em *Visual Basic*. Assim sendo esse script deverá ser configurado para correr sempre que o utilizador insere informação num destes dois elementos. Um código exemplo de como isto poderia ser implementado é apresentado em seguida.

```

Select Case mixer
    Case 2
        If StrComp(barcode, "CB0001", 1)=0 Then
            daybin = 1
        ElseIf StrComp(barcode, "CB0002", 1)=0 Then
            daybin = 2
        ElseIf StrComp(barcode, "CB0003", 1)=0 Then
            daybin = 3
        ElseIf StrComp(barcode, "CB0004", 1)=0 Then
            daybin = 4
        Else
            daybin = 0
        End If
    Case 3
        If StrComp(barcode, "CB0004", 1)=0 Then
            daybin = 5
        ElseIf StrComp(barcode, "CB0003", 1)=0 Then
            daybin = 6
        ElseIf StrComp(barcode, "CB0002", 1)=0 Then
            daybin = 7
        Else
            daybin = 0
        End If

```

```

Case 4
  If StrComp(barcode,"CB0004",1)=0 Then
    daybin = 8
  ElseIf StrComp(barcode,"CB0002",1)=0 Then
    daybin = 9
  ElseIf StrComp(barcode,"CB0003",1)=0 Then
    daybin = 10
  Else
    daybin = 0
  End If
Case 9
  If StrComp(barcode,"CB0004",1)=0 Then
    daybin = 11
  ElseIf StrComp(barcode,"CB0001",1)=0 Then
    daybin = 12
  ElseIf StrComp(barcode,"CB0003",1)=0 Then
    daybin = 13
  Else
    daybin = 0
  End If
Case Else
    daybin = 0
End Select

```

Relativamente ao código, este inicialmente começa por detetar a linha de misturação selecionada. Caso se verifique que uma das linhas de misturação foi selecionada, em seguida é verificado se o tipo de NF identificado condiz com algum dos silos diários existentes na linha de misturação. Caso seja encontrada uma compatibilidade, é atribuído o código do silo diário correspondente à variável *daybin*. Caso contrário a variável mantém-se nula.

De forma a informar o operador da verificação de compatibilidade, o resultado deverá ser exibido numa caixa de texto devidamente identificada com uma label, por exemplo, *Daybin Selected*. Apenas com um resultado válido nesta caixa é que será possível iniciar o processo de descarga, recorrendo ao comando Start.

Na eventualidade de vir a ser ordenado o início do processo de descarga sem que haja um resultado válido para o silo diário a abastecer, o sistema deverá despoletar uma janela de aviso relativamente a este aspecto. Na figura A.12 é possível observar um exemplo de janela que poderia ser implementada. Uma vez despoletada esta janela de aviso o utilizador deverá informar o sistema que tomou conhecimento pressionando o botão *Ok*.

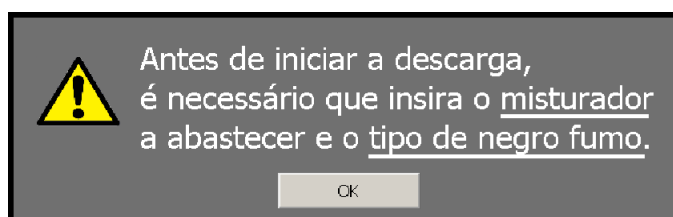


Figura A.12: *Layout* de janela de aviso

A.1.4.3 Display - Settings

Para além dos mecanismos que foram apresentados relativamente à configuração dos parâmetros existe ainda uma ideia que poderia ser aproveitada no sentido de dar mais informação ao utilizador sobre a evolução dos vários parâmetros. Essa ideia passaria por adaptar a cada um dos aspectos (velocidade da válvula rotativa, pressão de ar para transporte e desencravamento de material) a configurar um gráfico que permitisse fazer o log dos valores reais obtidos ao longo do tempo. Essa seria mais uma ferramenta que poderia eventualmente ser útil aos técnicos de controlo e instrumentação na deteção de alguma falha. A figura A.13 ilustra um exemplo do que poderia ser obtido.

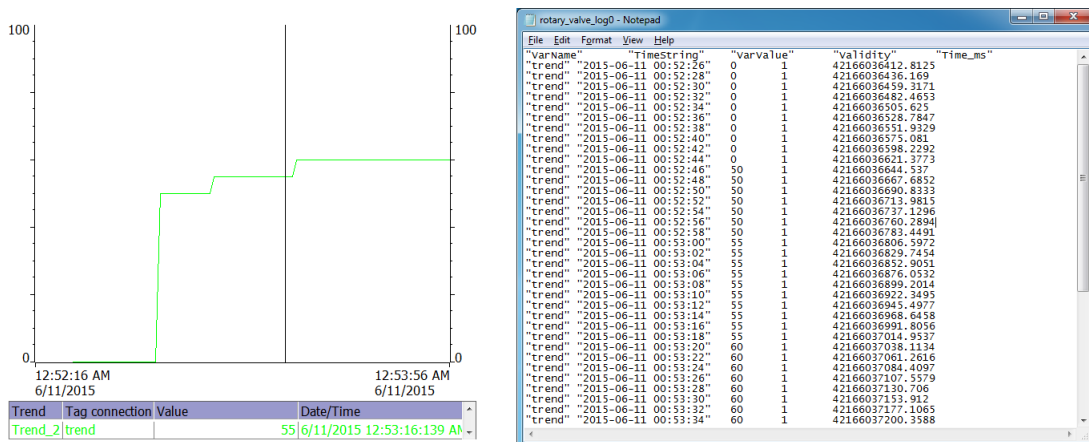


Figura A.13: Exemplo da evolução de uma dada variável *trend*

Como foi possível observar na figura A.13, é possível facilmente acompanhar a evolução da variável ao longo do tempo. O log permite ainda ter uma ideia mais precisa ao nível dos tempos.

A.1.4.4 Rascunhos

Em seguida encontram-se apresentados os rascunhos finais que foram obtidos após o processo de desenvolvimento da interface Homem-Máquina.

- Ecrã Inicial (Opcional)



Figura A.14: Rascunho referente ao display inicial

- Display *Estação de Big Bags*

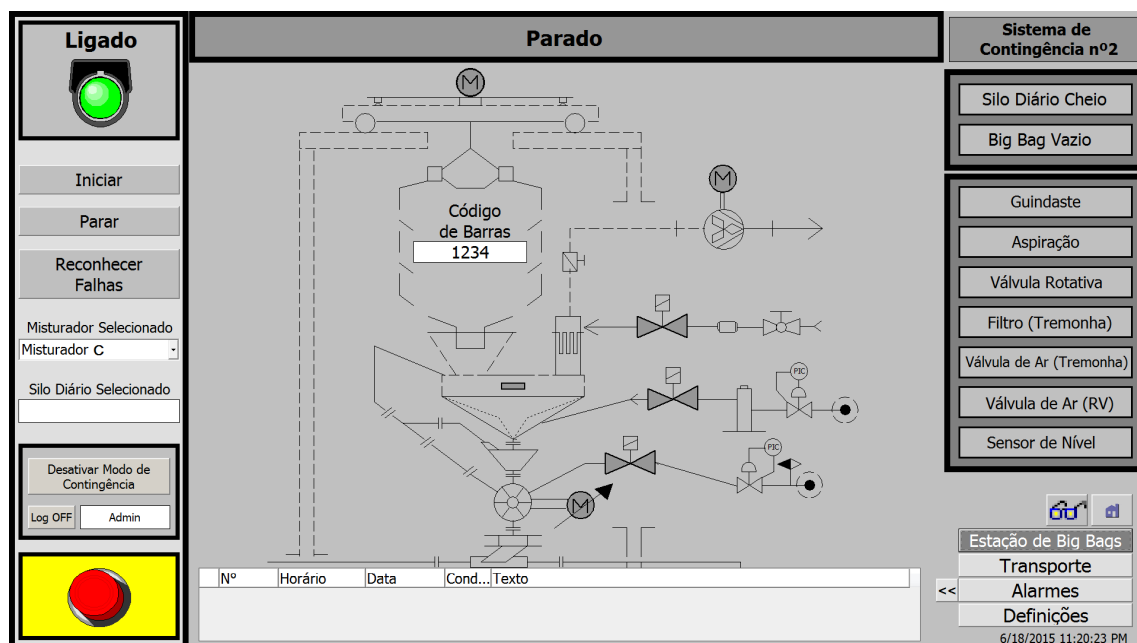


Figura A.15: Rascunho referente ao display Big Bag Station

- Display Transporte

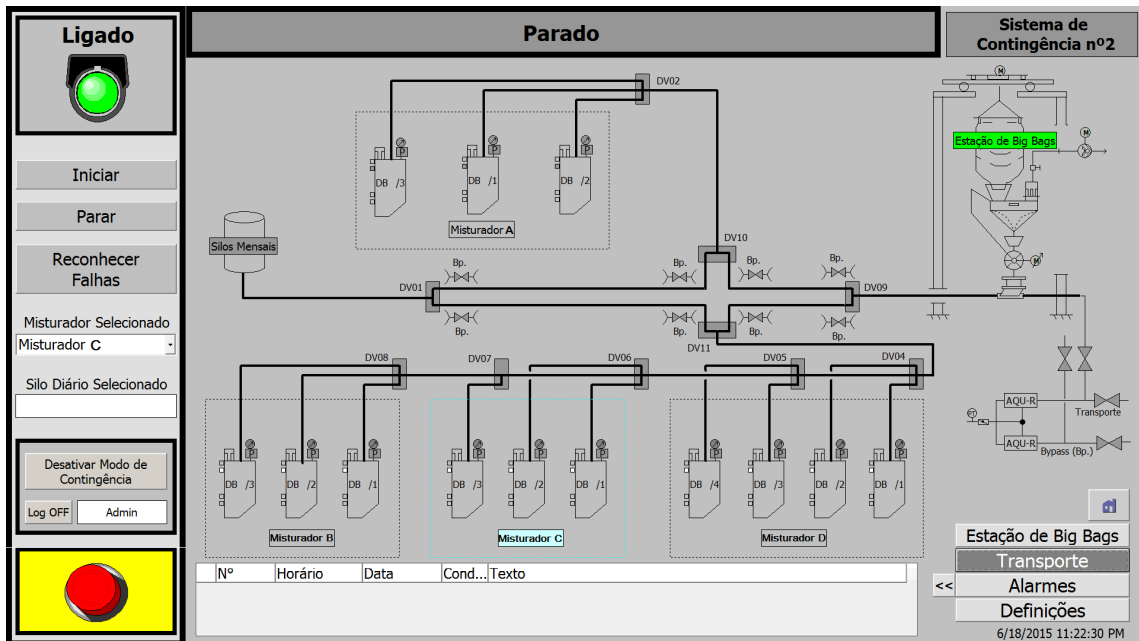


Figura A.16: Rascunho referente ao display Transport

- Display Alarmes

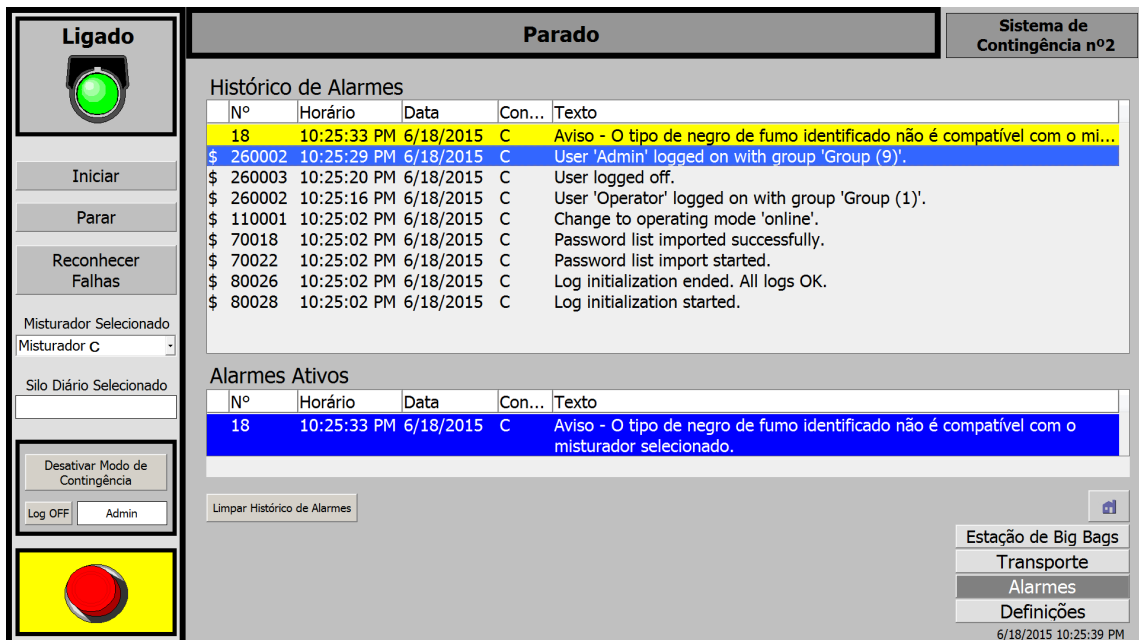


Figura A.17: Rascunho referente ao display Alarmes

- Definições

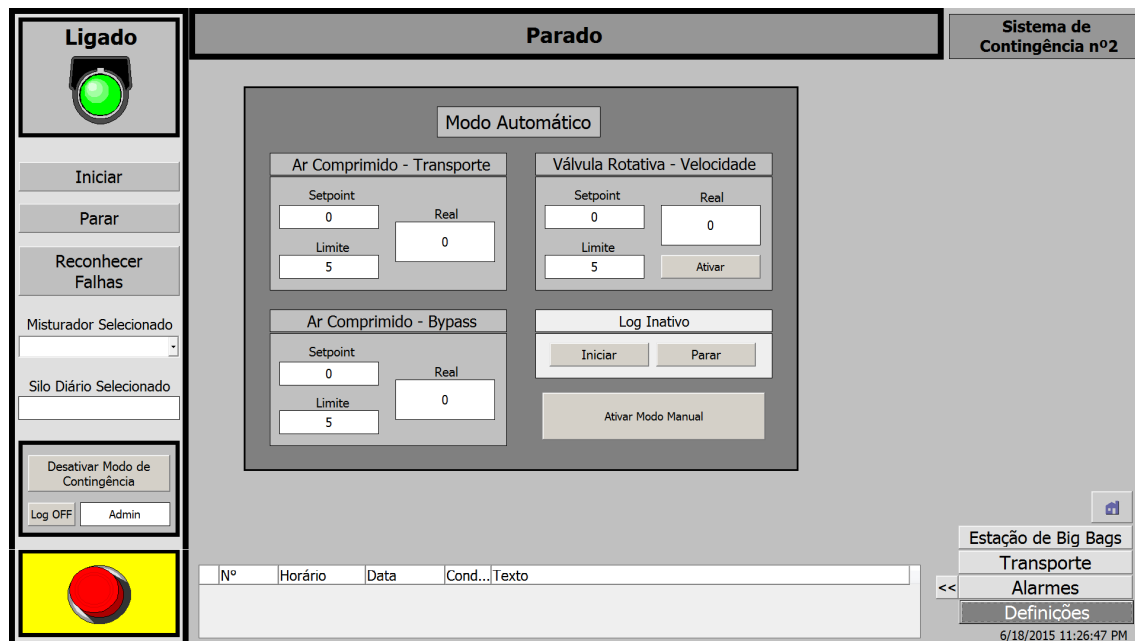


Figura A.18: Rascunho referente ao display Settings

A.1.5 Conclusão

É possível afirmar que a especificação aqui realizada apresentou um nível de detalhe razoável. Este facto irá levar a que a gama de soluções possíveis a apresentar pelo programador responsável pela desenvolvimento do HMI se torne mais restrita. No entanto o programador é incentivado a interiorizar melhor o sistema em causa, através por exemplo da leitura da dissertação ao qual esta especificação está associada, para que possa ter um espírito crítico relativamente à solução aqui especificada. Este espírito crítico será certamente benéfico para o cliente pois poderá levar a eventuais melhorias do HMI.

A.2 Visão geral do sistema

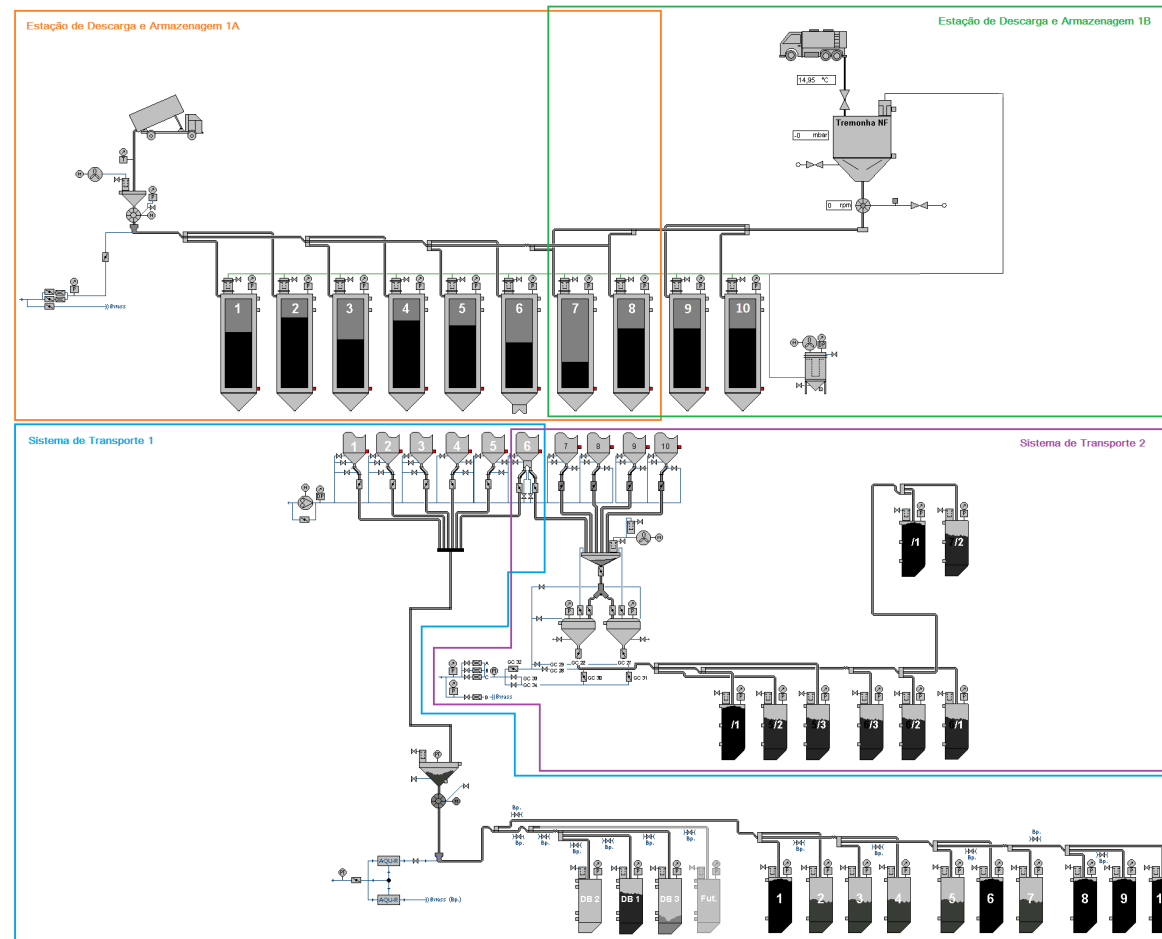


Figura A.19: Sistemas envolvidos no abastecimento das linhas de misturação

A.3 Avaliação Heurística do HMI

Table 3-1 List of Heuristics

Heuristics	Comments
Visibility of system status	At any time, the user should know what the system is doing. For example, a progress bar provides indication that an action is being processed, or a visible change on the display indicates that the system has changed state based on user input.
Match between system and user's world	The system "speaks" the user's language rather than in cryptic codes. For example, not all users are fluent in Grafcet (a language used by control and automation engineers), yet many designers wish to explain the control logic to the users in this language.
User control and freedom	The user controls the HMI, and not the other way around.
Consistency and standards	There should be consistency between the various elements of the HMI. For example, software-based HMIs should conform to the style guide for the platform.
Error prevention	The design should attempt to prevent errors. For example, confirmation windows and legible labels help prevent errors.
Recognition rather than recall or analysis	Repeat the required information if it is needed at more than one place on the HMI. Also, use pattern recognition rather than detailed dial or gauge analysis.
Flexibility and efficiency of use	To accommodate various skill levels, there should be more than one way to do things.
Aesthetic and minimalist design	The resulting HMI design should be as simple as possible, thus elegant.
Help and documentation	It should be simple and short, adapted to the task and to user characteristics.
Help users recognize, diagnose and recover from errors	No matter how many efforts are made, errors will occur. The HMI should thus help users recover from them. For example, an alarm should be linked to an alarm sheet that indicates the nature of the alarm, its likely causes and the recommended path to resolve it.

Figura A.20: Lista de heurísticas usadas habitualmente, [15]

A.4 Excertos da especificação técnica referente aos controladores Siemens

	CPU 941	CPU 942	CPU 943	CPU 944
Execution time per - 1000 statements (see Appendix A for specific information)	Approx. 10 msec.	Approx. 10 msec.	Approx. 5 msec.	Approx. 1.5 msec.
Internal program memory (RAM)	2 Kbytes	10 Kbytes	48 Kbytes	96 Kbytes
Total program memory, maximum	18 Kbytes*	42 Kbytes*	48 Kbytes	96 Kbytes
Cycle monitoring time	Default approx. 500 ms, programmable			
Program scanning	Cyclic, interrupt-driven, time-controlled			
Address range, maximum (digital inputs)	1024 I 0.0 to I 127.7			
Address range, maximum (digital outputs)	1024 Q 0.0 to Q 127.7			
Address range, maximum (analog inputs)	64 PW 128 to PW 254			
Address range, maximum (analog outputs)	64 PW 128 to PW 254			
Flags	1024, optionally	<ul style="list-style-type: none"> • all retentive • half retentive • all non-retentive 		
Timers	128, optionally	<ul style="list-style-type: none"> • all retentive • half retentive • all non-retentive 		
Counters	128, optionally	<ul style="list-style-type: none"> • all retentive • half retentive • all non-retentive 		
Time range	0.01 to 9990 s			
Counting range	0 to 999			
Operation set	Approx. 170 operations			

* Sum from the internal program memory and submodule

Figura A.21: Especificação técnica do CPU 942-7UB11 da gama S5-115U

Technical specifications	
CPU and version	
• MLFB	6ES7315-2EH14-0AB0
• Hardware version	01
• Firmware version	V3.2.1
• Associated programming package	STEP 7 as of V5.5 + HSP 199
Memory	
Main memory	
• Integrated	384 KB
• Expandable	No
• Maximum size of non-volatile memory for retentive data blocks,	128 KB
Load memory	
• Pluggable (MMC)	Yes
• Pluggable (MMC), max.	8 MB
• Data retention on the Micro Memory Card (after the last programming action), min.	10 years
Backup	
• Available	Yes (ensured with Micro Memory Card - maintenance-free)
• Without battery	Yes (program and data)
Execution times	
• for bit operation, min.	0.05 μ s
• for word operations, min.	0.09 μ s
• For fixed-point arithmetic, min.	0.12 μ s
• For floating-point arithmetic, min.	0.45 μ s
Timers/counters and their retentivity	
S7 counters	
• Number	256
Retentivity	
• Configurable	Yes
• Default	Z 0 to Z 7

Figura A.22: Excerto da especificação técnica do CPU 315-2 PN/DP da gama S7-300

Address ranges (inputs/outputs)	
I/O address area	
• Inputs	2048 bytes
• Outputs	2048 bytes
Distributed	
• Inputs	2048 bytes
• Outputs	2048 bytes
I/O process image	
• Inputs	2048 bytes
• Outputs	2048 bytes
• Inputs, adjustable	2048 bytes
• Outputs, adjustable	2048 bytes
• Inputs, preset	128 bytes
• Outputs, preset	128 bytes
Process image partitions	
• Number of partial process images, max.	1
• Amount of user data in the process image partition for isochronous PROFINET IO, max.	1600 bytes
Digital channels	
• Inputs	16384
• Outputs	16384
• Inputs, of those central	1024
• Outputs, of those central	1024
Analog channels	
• Inputs	1024
• Outputs	1024
• Inputs, of those central	256
• Outputs, of those central	256

Figura A.23: Excerto da especificação técnica do CPU 315-2 PN/DP da gama S7-300

Bibliografia

- [1] American National Standard Institute. *ANSI/ISA-5.1-2009: Instrumentation Symbols and Identification*, September 2009.
- [2] Russ Brisky. *SIMATIC S5 to S7 Migration*. Siemens Energy & Automation, Inc., Março 2006. Atualizado em Junho 2007. Web. Disponível em: https://w3.siemens.com/automation/jp/Documents/5_SIMATIC_S5_S7_renewal_manual_en.pdf.
- [3] Peter Bullemer, ASM Consortium, et al. *Effective operator display design*. ASM Consortium, 2008.
- [4] Bosch Rexroth Corporation. Pc vs. plc: key factors in comparing control options. Web. Disponível em: http://www.automation.com/pdf_articles/Rexroth_PLCVsPC_L.pdf.
- [5] DP Dube and Ved Prakash Gulati. *Information System audit and assurance*. Tata McGraw-Hill Education, 2005.
- [6] Rolf Fritisi, Armin Roux, Franz Eiholzer. *Migration SIMATIC S5 - SIMATIC S7*. Siemens AG, December 2007. Web. Disponível em: https://w3.siemens.com/automation/jp/Documents/6_SIMATIC_S5_S7_renewal_guideline_en.pdf.
- [7] Kelvin T Erickson. *Programmable logic controllers: an emphasis on design and application*. 2005.
- [8] Jean-Yves Fiset. *Human-Machine interface design for process control applications*. ISA, 2009.
- [9] Paul Gruhn. Human machine interface (hmi) design: the good, the bad, and the ugly (and what makes them so). In *66th Annual Instrumentation Symposium for the Process Industries*, pages 27–29, 2011.
- [10] Hexatec. How to design a good hmi display. Web. Disponível em: http://www.hexatec.co.uk/Consultancy/hmi_display_design_guidelines.aspx.
- [11] Bill Hollifield, Eddie Habibi, Ian Nimmo, and Dana Oliver. *The high performance HMI handbook*. Plant Automation Services, 2008.

- [12] International Organization for Standardization. *ISO 10628: Flow diagrams for process plants - General Rules*, April 1997.
- [13] Karl-Heinz John and Michael Tiegelkamp. *IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, decision-making aids*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [14] Barry Kirwan and Les K Ainsworth. *A guide to task analysis: the task analysis working group*. CRC press, 1992.
- [15] Robert L Mack and Jakob Nielsen. *Usability inspection methods*. Wiley & Sons New York, NY, 1994.
- [16] Gregory K McMillan and Douglas M Considine. *Process/industrial instruments and controls handbook*. McGraw Hill, 1999.
- [17] Aquilino Rodríguez Penin. *Sistemas Scada*. Marcombo, 2011.
- [18] Paulo Portugal and Adriano Carvalho. *The grafcet specification*. 2005.
- [19] Siemens AG. *SIMATIC STEP7: From S5 to S7 Converter Manual*, June 2006. Web. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/547/45531547/att_53202/v1/s7_s5s7b.pdf.
- [20] Siemens AG. *SIMATIC HMI, WinCC flexible 2008, Compact/ Standard/ Advanced*, Julho 2007. Web. Disponível em: http://www.afsenergy.com/?wpfb_dl=561.
- [21] Siemens AG. *SIMATIC S7-300, CPU 31xC and CPU 31x: Technical specifications*, Março 2011. Web. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/906/12996906/att_70325/v1/s7300_cpu_31xc_and_cpu_31x_manual_en-US_en-US.pdf.
- [22] Siemens AG. *Industrial PC, SIMATIC IPC427D*, Janeiro 2013. Web. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/073/67235073/att_80086/v1/ipc_427d_operating_instructions_en-US_en-US.pdf.