

**UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA**

**Projeto de Soluções Confiáveis de Automação em Ambiente
Industrial**

Abel Jorge Gonçalves da Conceição

Relatório para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica e Eletrónica
Área de Especialização: Tecnologias de informação e telecomunicações

Tutor: Professor Doutor Jorge Filipe Leal Costa Semião

Julho, 2016

**UNIVERSIDADE DO ALGARVE
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA**

**Projeto de Soluções Confiáveis de Automação em Ambiente
Industrial**

Abel Jorge Gonçalves da Conceição

Relatório para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica e Eletrónica
Área de Especialização: Tecnologias de informação e telecomunicações

Tutor: Professor Doutor Jorge Filipe Leal Costa Semião

Julho, 2016

Titulo: Projeto de Soluções Confiáveis de Automação em Ambiente Industrial

Autor: Abel Jorge Gonçalves da Conceição

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.



Abel Jorge Gonçalves da Conceição

Copyright © 2016. Todos os direitos reservados em nome de Abel Jorge Gonçalves da Conceição. A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Copyright © 2016. All rights reserved to Abel Jorge Gonçalves da Conceição. University of Algarve owns the perpetual, without geographical boundaries, right to archive and publicize this work through printed copies reproduced on paper or digital form, or by any other media currently known or hereafter invented, to promote it through scientific repositories and admit its copy and distribution for educational and research, non-commercial, purposes, as long as credit is given to the author and publisher.

Agradecimentos

Obrigado a todos os que contribuíram para que este trabalho fosse possível.

Obrigado à minha esposa e às minhas filhas pela disponibilidade e paciência, dando-me o tempo e o estado de espírito necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

Obrigado ao meu orientador Professor Doutor Jorge Semião pela orientação metódica e paciente, e pela disponibilidade que sempre demonstrou, face às minhas limitações de tempo.

Obrigado aos meus colegas da Schneider Electric Portugal, que discutiram e partilharam ideias sobre os temas deste trabalho.

Obrigado ao meu colega Alfredo Cavado, com o qual partilho trabalhos académicos e profissionais ao longo destes anos.

Obrigado ao Sr Yago del Vale (InteSusal/Necto SA), na função de responsável de processo e ao Eng. Nuno Domingues (Rolear.ON), na função de responsável pela implementação do projeto, que serve de caso de estudo mencionado neste documento.

Abel Jorge Gonçalves da Conceição

Resumo

O mercado de automação exige aos profissionais do sector a capacidade de projetar soluções confiáveis, eficientes, inovadoras e competitivas, para dar resposta às necessidades atuais e futuras dos clientes. Desta forma, é requerido ao profissional desta área uma atualização permanente e uma capacidade crítica e ponderação suficiente para desenvolver soluções inovadoras, mas ao mesmo tempo com maturidade e confiabilidade suficientes para não comprometerem a resiliência dos sistemas.

O presente relatório apresenta um estudo sobre a confiabilidade e o projeto de sistemas de automação, tendo por base a minha experiência prática como profissional de engenharia, foco maioritariamente nas atividades desenvolvidas desde 2005 ao serviço da Schneider Electric Portugal. Assim, será apresentado o tema da análise de soluções e de arquiteturas de automação industrial, tendo especial enfoco na confiabilidade das arquiteturas e soluções de automação industrial, realçando os aspetos da comunicação de dados e da compatibilidade eletromagnética. Será apresentada uma metodologia objetiva de projeto, com o objetivo de desenvolver arquiteturas confiáveis, com melhor performance, capacidade de expansão, na ótica das escolhas entre o convencional e o comunicante.

Será ainda apresentado como estudo teórico a temática da CEM (compatibilidade eletromagnética) em soluções de automação industrial, em especial no âmbito das comunicações, bem como as técnicas de mitigação de erros por interferência eletromagnética nos sistemas de automação.

O desenvolvimento da metodologia de construção de arquiteturas, bem como da implementação das técnicas de mitigação dos fenómenos de interferência eletromagnética é suportado por um caso de estudo. Desse mesmo caso de estudo são recolhidos alguns resultados ao nível da performance das comunicações e é feita uma análise crítica sobre os mesmos.

O objetivo mais genérico deste relatório é o de poder ser útil para quem venha a exercer atividades profissional nesta área da automação, de forma a ser usado como uma referência inicial de trabalho.

Palavras-chave: Automação Industrial, Arquiteturas de automação comunicantes. Compatibilidade Eletromagnética.

Abstract

The automation market requires from professionals the ability to design reliable, efficient, innovative and competitive solutions to achieve the current and future goals of the customers.

This requires from the electrical automation professional, a permanent update and a critical capacity and weighted enough to develop innovative solutions, but at the same time have the maturity and reliability to not compromise the resilience of systems.

The work presented in this thesis intends to study a method of design of resilient automation systems, based on my hands-on experience as a professional engineer, focused mostly on activities at Schneider Electric Portugal carried out since 2005. The work will highlight the impact of electromagnetic compatibility in the reliability of data communication and therefore the reliability of the wholly industrial automation solution.

This thesis aims to present a step by step methodology of project, with the goal of establishing resilient architectures with improved performance, scalability, and a balance between the conventional and the communicant.

This thesis also aims to present a theoretical study of the theme of EMC (Electromagnetic compatibility) in industrial automation solutions, in particular the way the mitigation techniques of errors caused by EMI (electromagnetic interference) in the communications errors in automation systems.

The development of the step by step methodology of architectures design, as well as the implementation of the mitigation techniques of EMI is supported by a case study.

This case study has collected some specific results in the communications systems and also the general results in the main system, and had produced a critical analysis about the total performance.

The main goal of this thesis in a more generic sense, it is to be useful for junior professionals who intent to engage the area of automation, to be used as an initial reference handbook.

Keywords: Industrial Automation, Communications architecture automation, Electromagnetic Compatibility.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objetivos do trabalho	3
1.3	Organização do relatório.....	4
2	O estado da arte.....	6
2.1	Standards de comunicação Industrial	7
2.2	Metodologia e padronização.	9
2.3	Requisitos das soluções.....	12
2.4	Consolidação da informação e necessidades	13
3	Compatibilidade eletromagnética	14
3.1	Normas aplicáveis	15
3.2	A abordagem da CEM na Indústria	17
3.3	Perturbações.....	18
3.3.1	Perturbações conduzidas.	19
3.3.2	Perturbações por acoplamento.....	23
3.4	Ligação de Terras e Massas	33
3.5	Medidas de mitigação de cada tipo de acoplamento.	35
3.6	Medidas Práticas de Implementação	36
3.6.1	Layout de implementação dos equipamentos.....	37
3.6.2	Layout da distribuição da cablagem	38
3.6.3	Seleção e instalação da cablagem.....	41
4	Desenvolvimento da arquitetura de Automação Industrial.....	45
4.1	Apresentação do projeto do caso de estudo	45
4.2	Metodologia de definição da arquitetura	50
4.2.1	Identificação dos elementos do projeto	52
4.2.2	Contabilização das entradas e saídas.....	52
4.2.3	Integração de equipamentos comunicantes.....	54
4.2.4	Definição das capacidades de processamento locais.	58
4.2.5	Armazenamento de informação.....	60
4.2.6	Interligação da automação com os acionamentos.	60
4.2.7	Implementação da Rede.....	62
4.2.8	A escolha de CPU's.....	65

4.2.9	Conceção da Solução	67
4.3	Implementação e análise de resultados	70
4.3.1	Ligação ao equipamento de campo	71
4.3.2	Software.....	75
4.3.3	Implementação de Medidas de performance do sistema.....	76
4.3.4	Análise dos resultados obtidos	80
4.4	Conclusão sobre a performance do sistema	82
5	Conclusão.....	83
5.1	Análise de resultados.....	83
5.2	Trabalho futuro.....	85

Índice de Figuras

Figura 3-1 – Hierarquia Europeia de normas CEM. [13]	15
Figura 3-2 – Relação entre espectro e ensaios ao nível da emissão. [13].....	16
Figura 3-3 – Relação entre espectro e ensaios ao nível da imunidade. [13].....	17
Figura 3-4 - Modelo de transmissão de perturbações [14] [11].....	18
Figura 3-5 Perturbações em modo diferencial [14]	20
Figura 3-6 Perturbações em modo comum [14].....	21
Figura 3-7 – Modelo representativo de circuito com perturbações combinadas em modo comum / modo diferencial [14].....	22
Figura 3-8 – Diagrama que sistematiza aos modos de acoplamento [14]	24
Figura 3-9 – Modelo de circuito para representar acoplamento galvânico. [14].....	25
Figura 3-10 Modelo de circuito para representar acoplamento Indutivo. [14].....	27
Figura 3-11 – Modelo de capacidade entre dois condutores adjacentes [11]	29
Figura 3-12 Modelo de circuito para representar acoplamento Capacitivo. [14].....	30
Figura 3-13 – Anel de massa [16]	32
Figura 3-14 – Modelo de prático de ligação à terra de uma instalação. [16]	34
Figura 3-15 – Ligação à terra em “multiponto”	35
Figura 3-16 – Ligação à terra em ponto único.	35
Figura 3-17 Layout de implementação dos equipamentos [14]	38
Figura 3-18 – Medidas de afastamento ideais recomendadas. [14].....	40
3-19 – Distribuição dos condutores no campo em função da categoria. [14].....	40
Figura 3-20 – Exemplo de equipotencialização de cabos de sinais classe 1. [14].	41
Figura 3-21 – Exemplo de distribuição de cabos e condutores de sinais classe 2. [14]	42
Figura 3-22 - Exemplo de distribuição e equipotencialização de cabos de sinais classe 3. [14].....	42
Figura 3-23 - Exemplo de distribuição e equipotencialização de cabos de sinais classe 4. [14].....	43
Figure 4-1 - Captura da tela do SCADA – (Reatores 1 e 2)	46
Figure 4-2 - Captura da tela do SCADA – (Reatores 3 e 4 e colheita)	47
Figure 4-3 - Zona de entrada dos reatores.....	48
Figure 4-4– Tanques de controlo de refrigeração e histerese e válvulas de controlo.	49

Figure 4-5 - Vista geral dos vários reatores.....	49
Figure 4-6 - Vista sobre os tanques dos agentes químicos de controlo do processo, e dos tanques de recolha.....	49
Figure 4-7 – Etapas do processo de projeto de uma arquitetura de Automação Industrial.....	51
Figura 4-8 – Diagrama típico de interligação cablada entre PLC e acionamento por VVD.....	55
Figura 4-9 – Diagrama típico de uma rede ModBusRS485.....	56
Figura 4-10 Arquitetura do projeto NETON.....	69
Figure 4-11 – Rede da Zona N1.....	70
Figure 4-12 – Rede da Zona N2.....	71
Figure 4-13– Fotografia do painel de automação do Q.E.xx.11.....	73
Figura 4-14 – Fotografia da ligação de potência de um Variador de Velocidade ATV312.....	74
Figura 4-15 – Ligação de massas.....	75
Figura 4-16 – Captura de tela do SoMachine, rede de comunicação.....	77
Figura 4-17 – Captura de Tela do SoMachine Logic Builder – Implementação do contador de erros.....	78
Figura 4-18 – Lista de Variáveis de sistema em 10.05.2016.....	79
Figura 4-19 - Lista de Variáveis de comunicação em 10.05.2016.....	80

Índice de Acrónimos

AI	Automação Industrial
FBD	<i>Funtion Block Diagram</i> (Diagrama de funções)
HMI	<i>Human-Machine Interface</i> (interface homem-máquina)
IL	<i>Instrution List</i> (lista de instruções)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo de interconexão)
LD	<i>Ladder Diagram</i> (diagrama de contatos)
PAC	Programmable Automation Controllers
PLC	<i>Programable Logic Controller</i> (Controlador lógico programável)
SCADA	Supervisory Control and Data Aquisition
I/O	<i>Input/Output</i> (Entradas e Saídas)
SFC	<i>Sequential Funtion Chart</i> (grafico sequencial de funções)
ST	<i>Strutured Text</i> (texto estruturado)
TCP	<i>Transmision Control Protocol</i> (Protocolo de controlo de transmissão)
WWW	<i>World Wide Web</i>
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i> (Distorsão Harmonica Total)

1 Introdução

A garantia da fiabilidade nos equipamentos eletrónicos é uma preocupação que está, cada vez mais, a ganhar importância. O aumento de complexidade dos equipamentos eletrónicos e a sua miniaturização provoca um aumento da vulnerabilidade dos sistemas a variações paramétricas, muitas delas provocadas pela própria operação dos equipamentos, outras pelas variáveis ambientais de operação. Nomeadamente em dispositivos que atuam nas áreas da saúde ou transportes, onde a segurança é crítica, garantir a fiabilidade desses equipamentos é garantir a manutenção de vidas humanas. Estes equipamentos não podem falhar!

Com efeitos talvez menos dramáticos, mas também muito importantes, estão as áreas dos equipamentos eletrónicos para aplicações industriais, onde não só a segurança pode ser crítica (a falha de equipamentos industriais pode também colocar em risco vidas humanas), mas os custos envolvidos impõem grandes exigências na garantia de fiabilidade da operação desses equipamentos. Em ambiente industrial, os prejuízos criados pela falha de um equipamento eletrónico industrial podem ser tão grandes que impõem elevadíssimas normas de qualidade e fiabilidade na construção desses equipamentos, elevando muito o seu custo. Para além disso, a operação de equipamentos eletrónicos em ambiente industrial proporciona problemas acrescidos de fiabilidade, uma vez que a operação de motores e a grande complexidade das soluções utilizadas introduzem sérios problemas de erros e interferências entre equipamentos e ligações.

1.1 Motivação

Os autómatos programáveis e os equipamentos de automação têm sido as principais escolhas para a indústria, no que se refere a controladores eletrónicos, quando se quer fiabilidade e o controlo de processos e de automatismos. Porém, a sua aplicação na

indústria requer, quase sempre, soluções customizadas e que utilizam cada vez mais recolha de dados de sensores, com cada vez mais comunicações de dados entre dispositivos.

Mas, como se garante a comunicação segura de dados, quando operamos em ambientes adversos? A tendência atual é de que a interligação entre dispositivos seja cada vez mais feita por sistemas comunicantes, em substituição dos sistemas convencionais de cablagem. Porém, dada a dinâmica dos equipamentos comunicantes, existem muitos equipamentos que não são abrangidos por qualquer normalização, pelo que novas versões do produto não respeitam a compatibilidade com os seus antecessores, ou de fabricantes diversos não são passíveis de substituição direta sem adaptações na programação do PLC.

Outra questão que ainda é crítica é a vulnerabilidade das comunicações, e consequentemente os comportamentos em caso de falha de comunicação e a sua implicação no processo. Assim, é necessário pensar logo, aquando do projeto do sistema de automação, em estratégias para mitigar os erros, de forma a que o próprio sistema possa prever a ocorrência de falhas de comunicação, mesmo sabendo que existem fenómenos exteriores impossíveis de controlar. Nesse sentido, a compatibilidade eletromagnética dos equipamentos eletrónicos que operam numa instalação industrial é crucial.

De uma forma genérica define-se que a compatibilidade Eletromagnética de um equipamento (CEM) é a capacidade que o mesmo possui em operar no ambiente eletromagnético para o qual foi criado e, ao mesmo tempo, não produzir perturbações eletromagnéticas intoleráveis, quer para si próprio, quer para outros equipamentos dentro dos mesmos parâmetros, conforme definido em várias normas incluindo a CEI 61000.

As perturbações eletromagnéticas geradas numa fonte podem ser transmitidas ao recetor, genericamente, de três formas: Condução, pelos condutores de alimentação ou pelas linhas de comunicação; Radiação, propagando-se pelo ar ou outro meio dielétrico; Descargas eletrostáticas. Em ambientes industriais, a importância do estudo da CEM e

técnicas de mitigação das perturbações é um tema atual, faces às tendências tecnológicas do momento e futuras. As fontes de perturbação estão a crescer em amplitude de tensão e corrente, face à evolução e banalização da eletrónica de potência. Para além disso, os circuitos eletrónicos são cada vez mais sensíveis, como já foi referido, e a distância entre circuitos sensíveis (eletrónica de comando e controle) e circuitos emissores de perturbações (eletrónica de potência) é cada vez menor.

Apesar de existirem já muitas análises sobre os problemas provocados pela inexistência de compatibilidade eletromagnética nos equipamentos, estes estudos são fundamentalmente teóricos, faltando análises práticas do problema que garantam soluções igualmente fiáveis. Neste âmbito, dada a multitudine de situações que se encontra na indústria e a sua complexidade, é fundamental recorrer à experiência prática adquirida na operação de equipamentos eletrónicos em ambiente industrial, para poderem ser definidas regras práticas que garantam a fiabilidade dos equipamentos e dos sistemas de controlo industriais.

1.2 Objetivos do trabalho

O objetivo deste relatório é o de apresentar um estudo, baseado em experiências práticas na área de automação, que permita desenvolver soluções para automação na indústria que sejam fiáveis, quer sob o ponto de vista da comunicação de dados entre equipamentos, quer sob o ponto de vista da compatibilidade eletromagnética.

Assim, o presente relatório de atividade profissional tem o objetivo de apresentar metodologias que permitam desenvolver arquiteturas mais confiáveis, com melhor performance, maior capacidade de expansão e menor custo efetivo. Para além disso, pretende-se explicar, baseado essencialmente na experiência prática, os principais obstáculos, as limitações tecnológicas relevantes e as formas de mitigar os erros, nomeadamente na questão da compatibilidade eletromagnética, nas limitações que a mesma impõe no desenvolvimento e implementação de arquiteturas de automação industrial. O relatório ficará completo com um caso de estudo, que ilustra o

desenvolvimento de uma arquitetura industrial, sistematizando informação relevante obtida no desenvolvimento da mesma.

O objetivo mais genérico deste relatório é o de poder ser útil para quem venha a exercer atividade profissional nesta área da automação, de forma a ser usado como uma referência inicial de trabalho.

1.3 Organização do relatório.

Com vista a dar resposta aos objetivos propostos na secção 1.2, foi criado o presente documento, que se organiza da seguinte forma.

No capítulo 2 é apresentado o estado da arte na temática da automação industrial, na vertente do projeto de arquiteturas comunicantes.

Um dos fatores mais limitadores de uma arquitetura comunicantes é a rede de comunicações. Eventualmente, o fator mais relevante na confiabilidade das comunicações está relacionado com a compatibilidade eletromagnética. Além disso, a compatibilidade eletromagnética pode afetar a confiabilidade da automação a outros níveis, como o funcionamento adequado dos equipamentos ou a qualidade de medida de sinais entre outros. Desta forma o relatório apresenta no capítulo 3 uma recolha de informação destinada a clarificar o tema.

O capítulo 4 apresenta uma metodologia para construção de uma arquitetura de automação industrial. Para tornar o trabalho menos abstrato foi usado um caso de estudo que é introduzido na secção 4.1. A secção 4.2 descreve as etapas na elaboração do projeto e a secção 4.3 descreve da metodologia usada para acompanhar a implementação e análise de resultados. Na secção 4.4 são apresentados alguns dados e conclusões sobre a performance do projeto implementado.

O capítulo 5 corresponde à conclusão do presente relatório.

No apêndice A são apresentados alguns projetos nos quais participei, que serviram de experiência para a criação da informação descrita na secção 4.

O apêndice B possui informação relevante sobre a comunicação em ModBus, que é o protocolo largamente referenciado neste documento nas diversas soluções apontadas, pelo que justifica fazer parte do conjunto.

O apêndice C apresenta o meu curriculum vitae e, sendo o presente trabalho, e muitos dos seus conteúdos, baseado na minha experiência profissional, justiça que o mesmo faça parte deste documento.

2 O estado da arte.

O desejo de controlar os processos industriais acompanha o homem desde a criação das primeiras máquinas [1]. Até ao final do século XIX, a produção de objetos baseava-se no trabalho do ser humano. Posteriormente, iniciou-se a mecanização dos processos de fabrico, denominada de revolução industrial. No entanto, nos primórdios da revolução industrial, o homem era o operador de todo o processo. Progressivamente, foram introduzidos mecanismos que aumentaram a independência da máquina ao nível do controle, tornando-a cada vez menos dependente da operação humana. Cada vez mais os sistemas vão ser capazes de calcular a ação a ser executada em função da informação recebida e conhecida. A este processo chama-se Automação, do inglês *Automation*, e foi um termo inventado pelo *marketing* da indústria de equipamentos na década de 1960.

O eixo de desenvolvimento da Automação é maximizar a produção e minimizar os seus custos, para além de também eliminar possíveis riscos envolvidos na produção. Outra justificação para os largos investimentos em automação que têm sido feitos é a segurança de processos industriais e de infraestruturas críticas, pois a automação tem sido vista como uma forma de minimizar o erro humano. Tarefas que antes implicavam um alto risco para os operadores dos equipamentos, podem ser realizadas remotamente sem qualquer risco daí resultante.

A presença da automação na economia global e na vida humana diária é crescente, sendo a automação industrial considerada hoje um instrumento fundamental para a qualidade e a produtividade das empresas [1]. A Automação Industrial exige a participação de uma grande gama de setores do conhecimento humano, como mecânica, eletrónica, física, química e informática. Aparece assim com um elevado dinamismo tecnológico, com o lançamento frequente de produtos novos e inovadores. [2]

A automação industrial evoluiu do controlo de pequenas tarefas separadas para uma operação conjunto ao nível de toda a máquina. Posteriormente foram criadas soluções de automação de toda a unidade industrial que, atualmente, podem ser parte integrante do processo de gestão corporativa de toda a empresa e inclusive incluem a informação necessária à sua própria manutenção. É comum a Automação Industrial gerir a

informação necessária à manutenção de cada um dos seus blocos constituintes, como seja os tempos de funcionamento e necessidade de reparação preventiva, incluindo até a documentação necessária às operações. É possível a Automação Industrial fornecer à gestão dados sobre a produção e produtividade, relacionando a produção com, por exemplo, o consumo de energia.

Para dar corpo a este recurso vital que é a automação na indústria, existe a necessidade de criação de metodologias que integrem *hardware* e *software* proveniente de vários fabricantes, inclusive de vários patamares tecnológicos. Mesmo assim será necessário que esta integração seja harmoniosa e, ao mesmo tempo, confiável.

Para dar seguimento a este trabalho foi feita uma pesquisa dos conteúdos relevantes e consistentes em termos de documentação orientadora da produção destas mesmas soluções. Existe uma multitude de documentação sobre arquiteturas e normalização, com várias origens e com vários níveis de abrangência, o que torna muito difícil ao profissional centrar-se de forma objetiva nos pontos determinantes para a qualidade do resultado pretendido.

A próxima secção resume os protocolos de comunicação utilizados em automação industrial. Não é objetivo deste trabalho o de apresentar em detalhe os protocolos, mas apenas enumerar os mais utilizados pela indústria na comunicação entre dispositivos e nos processos de automação. As secções seguintes apresentam brevemente as normas e trabalhos existentes para garantir a fiabilidade e boa execução dos projetos de automação. No final do capítulo apresenta-se um resumo e análise, para melhor compreensão do estado da arte nesta área.

2.1 Standards de comunicação Industrial

O aumento de complexidade das arquiteturas e sistemas utilizados em Automação Industrial tem conduzido à evolução e utilização de diferentes soluções para a comunicação de dados entre os diversos sistemas e aparelhos industriais.

O aumento da dimensão das máquinas obrigou a encontrar soluções de ligação dos dispositivos de campo, substituindo o sistema de cablagem tradicional “fio a fio”, em que todos os elementos ligam diretamente ao controlador, por um sistema em que os elementos de campo transmitem as informações através de um protocolo comum ao controlador. Este tipo de rede específico de automação industrial denomina-se *fieldbus*. Opera normalmente a baixa velocidade e possui características de imunidade necessárias aos ambientes industriais. São exemplos [3]:

- Bus ASI (*AS-International*).
- Profibus FMS (Siemens® / Profibus Trade Organization)

Os protocolos mais comuns nestas arquiteturas são, a título de exemplo, os seguintes:

- ModBus (Modicon® / Schneider Electric / ModBus.org)
- Fipway (Telemecanique / Schneider Electric)
- CANopen (Bosch / Can-cia.de)
- Profibus DP (Siemens® / Profibus Trade Organization)
- DeviceNET (Open DeviceNet Vendor Association)
- LonWorks (Echelon® / LonMark)
- DNP3 (IEEE)

Porém, a necessidade de interligação entre a Automação Industrial e os sistemas de gestão impôs a necessidade de utilização de um protocolo comum, que é a Ethernet. No entanto, a evolução da Automação, no sentido de os volumes de dados trocados serem cada vez maiores, levou a Ethernet ao nível da interligação entre PLCs e, recentemente, ao nível da interligação entre PLC's e eventuais dispositivos com capacidades comunicantes inseridas na arquitetura de automação. Esta tendência designa-se por IoT (*Internet of things*) e é já uma realidade em muitos equipamentos de automação existentes. Embora exista esta tendência, é natural que soluções mistas possam ainda ser utilizadas para facilitar a coexistência de diferentes necessidades.

Sendo a *Ethernet* a solução de comunicação que se espera ter mais evolução na indústria nos próximos anos, também não é menos verdade que faltam ainda estudos

sobre a sua fiabilidade e robustez em ambientes industriais adversos. Assim, é importante que as soluções de projeto tenham atenção a estes problemas de fiabilidade, arranizando soluções práticas de implementação que minimizem os riscos de problemas de comunicação. Por exemplo, a existência de cablagem de controlo perto de equipamento radiante pode introduzir um problema sério de interferências que não é fácil detetar e põe em causa todo o sistema de automação.

2.2 Metodologia e padronização.

De uma forma geral, a norma IEC61131[4] [5] define padrões e procedimentos a seguir para a construção dos equipamentos e *software* de automação, do ponto de vista dos fabricantes. A referida norma nas secções 1 a 9, possui conteúdo bastante amplo sobre todos as temáticas da automação industrial, possuindo a seguinte organização:

- IEC 61131-1- Informações gerais (2003) → Estabelece as definições gerais dos termos utilizados na norma e identifica as principais características relevantes para a seleção e aplicação de controladores programáveis e seus periféricos;
- IEC 61131-2- Especificações e ensaios de equipamentos (2007) → Contém os requisitos mínimos para as características funcionais, condições de serviço, características de construção e condições de segurança e testes aplicáveis aos controladores programáveis e periféricos associados;
- IEC 61131-3- Linguagens de programação (2013) → Especifica a sintaxe e a semântica de um conjunto unificado de linguagens de programação para controladores programáveis;
- IEC 61131-4- Guias para o utilizador (2004) → Contém um guia de aconselhamento dos utilizadores de PLC's para as diversas fases de projeto de automação;
- IEC 61131-5- Serviços de comunicação (2000) → Contém informação sobre as comunicações entre PLC's de diversos fabricantes, assim como comunicações entre outros sistemas que utilizem o mesmo protocolo de comunicações.

- IEC 61131-6 – Mecanismos de segurança funcional (2012)→Contém informações sobre mecanismos de segurança intrínsecos às cartas de segurança, aplicáveis em máquinas perigosas.
- IEC 61131-7 – Define os conceitos do controlo *fuzzy*[6] (2000) →Contém informações sobre a normalização da linguagem e controlo *fuzzy*.
- IEC 61131-8 – Guia para linguagens de programação (2003)→Contém informações os princípios necessários para definir novas linguagens de programação enquadradas na IEC61131.
- IEC 61131-9 – Guia para linguagens de programação (2003)→Contém informações os princípios necessários para definir novas linguagens de programação enquadradas na IEC61131.

A norma continua em desenvolvimento em todos as suas secções, e sendo adicionadas novas á medida que os requisitos tecnológicos assim o obrigam.

No entanto, esta norma, embora completa, apresenta uma elevada densidade de informação e, esse facto conjugado com a forma como é apresentada a informação, torna a sua utilização difícil em projetos práticos. Além disso, o documento foi produzido em grande parte na visão do desenvolvimento e fabrico, pelo que apresenta lacunas na ótica do projeto e implementação das arquiteturas. Sendo um documento muito formal, também não evidencia o foco nos objetivos finais com vista nas tendências atuais de projeto.

Em termos de fabricação os equipamentos são produzidos e ensaiados pelos métodos previstos na IEC 61131-2, pelo que o a este nível o *hardware* de qualquer fabricante que cumpra este requisito normativo assegura a confiabilidade e performance necessárias.

Ao nível da programação do *hardware* e *software*, a norma IEC 61131-3 assegura os critérios e as técnicas de desenvolvimento e estruturação suficientes para o desenvolvimento, aperfeiçoamento e manutenção de sistemas de automação. Porém, a necessidade de seguir uma metodologia concisa de projeto e desenvolvimento é uma necessidade reconhecida na maior parte das organizações.

A utilização da comunicação OLE[7][8] *for ProcessControl* (OPC) fornece uma estrutura padrão para controle e troca de dados e também é uma ferramenta unificada e difundida entre os fabricantes de sistema de supervisão.

Em suma, no que ao projeto de automação diz respeito, as organizações OPC Foundation[7] e PLC Open[8] oferecem suporte e metodologia para o projeto, em conformidade com a norma IEC61131.

Esclarecendo a norma IEC61131 todos os princípios base de produção do *hardware* e do *software* como elementos individuais do sistema, e trabalhando as organizações OPC e PLC Open a estrutura das comunicações e a metodologia do projeto respetivamente, existe a necessidade de um documento que englobe em si o método para criação de projetos e definição das arquiteturas comunicantes como um todo.

O trabalho realizado por trabalho de Anderson Alves Diniz e Germano Luiz de Paula[9] tenta aproximar as normas e metodologias de projeto existentes da conceção pratica de um projeto. Resume o método e construção das arquiteturas, recomendado na secção 8 da IEC61131, e as orientações sugeridas pela OPC Foundation, em termos de comunicação. Porém, embora este trabalho aborde os aspetos da execução de projetos (pois salvaguarda-se nas normas existentes), não resolve os problemas existentes na implementação e instalação do sistema no terreno, e consequentes testes de performance dos sistemas. Existe uma necessidade clara de construir uma metodologia simples que respeite as diretivas de conceção prevista na norma em termos de componentes individuais, defina os procedimentos e requisitos em termos de arquitetura, mas englobe também uma metodologia de testes, que permita a medição da performance sobre um todo. Além disso ainda deverá a fase de planeamento identificar as eventuais debilidades assinalando-as desde por forma a que na fase de implementação se adotem as técnicas de mitigação adequadas, e ao mesmo tempo esta informação passe para a fase de ensaios para que as medidas de performance sejam implementadas com especial menção sobre as mesmas.

2.3 Requisitos das soluções

A performance e confiabilidade da solução é o resultado do projeto adequado e da implementação correta da mesma. No entanto, do ponto de vista do cliente o objetivo geral só será cumprido se tiver a performance desejada, a confiabilidade necessária e cumprir os requisitos desejados. Nem todos os requisitos possuem o mesmo grau de importância e, depois de satisfeitos os requisitos básicos, surgem outros que são ditados muitas vezes por tendências de mercado.

De acordo com Jonathon Thompson[10], especialista na produção de *standards* para soluções de automação na indústria farmacêutica, os requisitos atuais que devem guiar o desenvolvimento de um projeto são descritos na tabela seguinte:

Interveniente	Requisitos
Operadores	<ul style="list-style-type: none">• Atualização em tempo real para todos operadores.• Mobilidade no acesso ao sistema – Ex Capacidade de acessos com dispositivos móveis• Informação adaptada ao perfil do operador.• Informação simplificada• Possibilidade de combinar dados.
Equipa de Engenharia	<ul style="list-style-type: none">• Alertas em tempo real sobre defeitos/status de equipamentos.• Possibilidade de combinar/detalhar dados para perceber tendências.
Equipa da qualidade	<ul style="list-style-type: none">• Alertas em tempo real sobre defeitos/status da produção• Possibilidade de combinar dados para produzir indicadores de performance.
Gestores	<ul style="list-style-type: none">• Alertas em tempo real sobre defeitos/status da produção• Possibilidade de combinar dados para produzir indicadores de performance.

Tabela 2-1 – Tendências de objetivos da Automação Industrial.

A necessidade de observar os requisitos a não os perder de vista durante todo o projeto e implementação. Na metodologia que tento desenvolver procuro que os requisitos e tendências ao momento do desenvolvimento nunca se percam ao longo de todas as etapas.

2.4 Consolidação da informação e necessidades

Assegurar que os componentes individuais dos sistemas (*hardware* e *software*) sejam normalizados em cumprimento com a IEC 61131 nas suas várias secções, é uma garantia da performance e confiabilidade individual dos componentes. No entanto, a performance e confiabilidade do sistema como um todo depende do projeto e da implementação.

Pelo exposto neste capítulo, as organizações OPC Foundation[7] e PLC Open[8] oferecem o suporte e metodologia para o projeto em conformidade com a IEC61131. Justifica-se, no entanto, a criação de uma metodologia que, de forma objetiva, contemple no mesmo documento o projeto com as componentes de implementação e teste de performance. Ao mesmo tempo deve a metodologia possuir uma referência aos requisitos do sistema que são tendenciais na altura do projeto.

A necessidade de testar o sistema como um todo assume especial importância em arquiteturas comunicantes, uma vez que apresentam vulnerabilidade maiores nomeadamente ao nível das comunicações.

3 Compatibilidade eletromagnética

De uma forma genérica, define-se que a compatibilidade eletromagnética de um equipamento (CEM) é a capacidade que o mesmo possui em operar no ambiente eletromagnético para o qual foi criado e, ao mesmo tempo, não produzir perturbações eletromagnéticas intoleráveis, quer para si próprio, quer para outros equipamentos dentro dos mesmos parâmetros (conforme definido em várias normas incluindo a CEI 61000[5]).

A nomenclatura comum define o equipamento que origina as perturbações como a “fonte”, e o equipamento suscetível de ser afetado como a “vítima” [11] [12].

Um determinado equipamento classifica-se em termos de CEM através da avaliação dos seguintes fatores:

- Emissão – Avaliação das perturbações provocadas dentro do seu ambiente eletromagnético.
- Imunidade ou Suscetibilidade – Avaliação da sua capacidade de resistir às perturbações eletromagnéticas operando de forma correta.

Ainda, de uma forma genérica, as perturbações eletromagnéticas geradas numa fonte podem ser transmitidas ao recetor de três formas:

- Condução, pelos condutores de alimentação ou pelas linhas de comunicação.
- Radiação, propagando-se pelo ar ou outro meio dielétrico.
- Descargas eletrostáticas.

Dentro destas três formas de propagação, as duas primeiras encontram-se mais enquadradas no intervalo de estudo da eletrotecnia, bem como são alvo das comissões de normalização dos vários organismos competentes.

A importância do estudo da CEM e técnicas de mitigação das perturbações é uma temática atual, faces às tendências tecnológicas do momento e futuras:

- As fontes de perturbação estão a crescer em amplitude de tensão e corrente, face à evolução e banalização da eletrónica de potência.
- Os circuitos eletrónicos são cada vez mais sensíveis.
- Distância entre circuitos sensíveis (eletrónica de comando e controle) e circuitos emissores de perturbações (eletrónica de potência) é cada vez menor.

3.1 Normas aplicáveis

Em termos normativos sobre CEM, existe uma imensa legislação e publicações agrupadas, ou dispersas, emitidas pelos vários organismos relacionados com equipamentos e sistemas elétricos e eletrónicos, bem como organismos no domínio das comunicações.

A Figura 3-1 sistematiza a hierarquia em termos de normas europeias de CEM

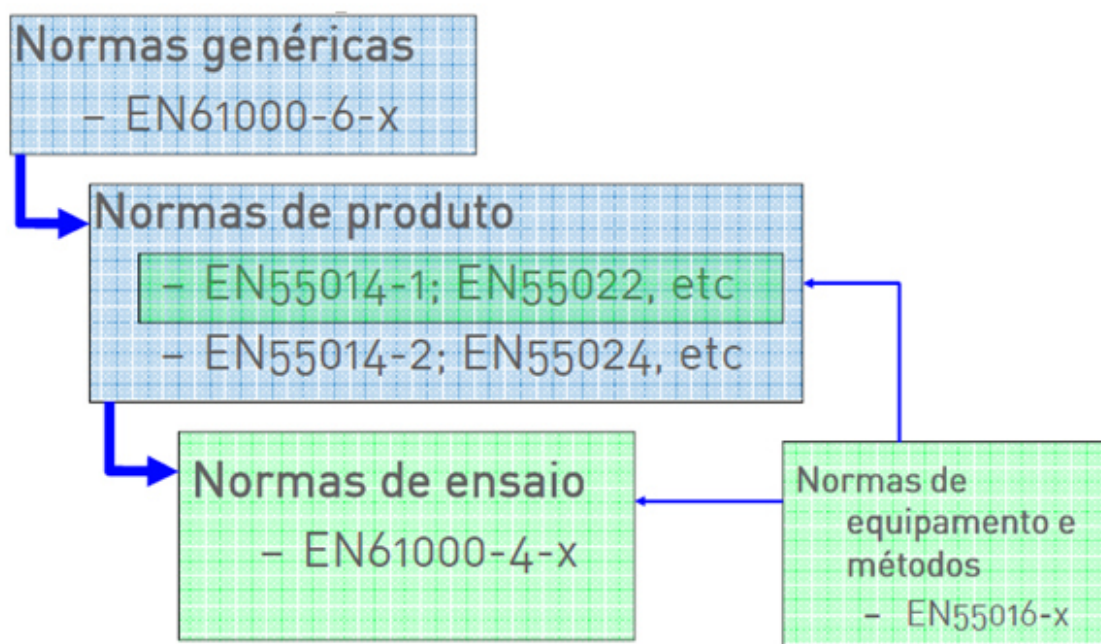


Figura 3-1 – Hierarquia Europeia de normas CEM.[13]

Os requisitos de comercialização de equipamentos impõem metodologias de ensaio e estabelecem parâmetros em função das frequências principais de operação dos mesmos, ou do local onde os mesmos se destinam e as interferências a que podem estar sujeitos. Assim, os ensaios e parâmetros aplicáveis aos equipamentos separam-se ao nível da emissão e da receção.

Frequência	Fenómeno	Norma / Método
0 a 30Hz	Flutuações de tensão na rede de baixa tensão	EN 61000-3-3
100Hz a 2kHz	Harmónicas de corrente na rede de baixa tensão	EN 61000-3-2
9kHz a 30MHz	Perturbações conduzidas na rede de baixa tensão	EN 55014-1 EN 55011 EN 55015 EN 55022
9kHz a 30MHz	Campo Magnético radiado pelo invólucro	EN 55011 EN 55015
150kHz a 30MHz	Perturbações conduzidas nas saídas do aparelho	EN 55014-1 EN 55011 EN 55015 EN 55022
30MHz a 300MHz	Potência radiada pelos cabos de interligação	EN 55014-1
30MHz a 18GHz	Campo eléctrico radiado pelo invólucro	EN 55014-1 EN 55011 EN 55015 EN 55022

Figura 3-2 – Relação entre espectro e ensaios ao nível da emissão. [13]

Na Figura 3-2 são descritos fenómenos relativamente aos parâmetros de emissão, consoante a gama de frequência, quais os fenómenos esperados e a norma e método de ensaio aplicável. A sinalização na cor verde indica que é esperado que o ensaio se aplique a uma perturbação conduzida, enquanto a marcação a azul se refere a um fenómeno previsível de ser radiado.

Frequência	Fenómeno	Norma / Método
0 a Centenas Hz	Quebras, cortes e variações de tensão de alimentação	EN 61000-4-11
50Hz	Campo magnético de frequência industrial	EN 61000-4-8
100Hz a 2kHz	Distorção, de tensão de alimentação	EN 61000-4-13
Dezenas kHz	Acoplamento de transitórios de alta tensão e alta energia	EN 61000-4-5
Unidades MHz	EFT - Acoplamento de transitórios rápidos de alta tensão e baixa energia	EN 61000-4-4
150kHz a 80MHz	Sobreposição de tensão RF modulada em amplitude	EN 61000-4-6
80MHz a 3GHz	Campo electromagnético modulado e pulsado	EN 61000-4-3
Centenas MHz	ESD - Descargas electrostáticas	EN 61000-4-2

Figura 3-3 – Relação entre espectro e ensaios ao nível da imunidade. [13]

A Figura 3-3 descreve fenómenos relativos a parâmetros de imunidade, consoante a gama de frequência e a norma e método de ensaio aplicável. A sinalização na cor verde indica que é esperado que o ensaio se aplique a uma perturbação recebida por condução, enquanto a marcação a azul se refere a um fenómeno a receber por radiação.

3.2 A abordagem da CEM na Indústria

Quando tentamos estabelecer as relações existentes num sistema em termos de CEM, dividimos o mesmo em três variáveis:

- A fonte geradora de perturbações, ou emissor.
- Meio de propagação ou acoplamento.
- Dispositivo afetado, recetor ou “vítima”.

Este é o modelo teórico, e é partilhado pela maior parte da literatura de forma a criar uma linguagem comum na análise dos problemas de CEM. O princípio do modelo consiste na sistematização das relações que permitem explicar e quantificar o efeito de

determinada perturbação gerada por uma fonte, propagada através de um meio, provocando um efeito sobre outro dispositivo designado de “vítima”.

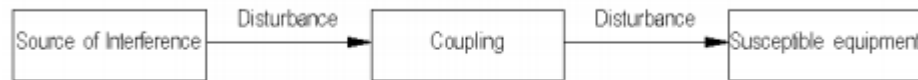


Figura 3-4 - Modelo de transmissão de perturbações [14][11]

Temos de assumir que estas três variáveis são independentes, para efeitos análise do sistema, embora em termos práticos poderá não ser exatamente dessa forma.

A análise teórica é difícil de transcrever de forma matemática. A propagação eletromagnética traduz-se através de um conjunto complexo de equações diferenciais, conhecidas por equações de Maxwell's. Estas equações geralmente não poderão ser resolvidas de forma analítica para um sistema real. Mesmo por métodos numéricos, é difícil implementar um modelo matemático com resultados fidedignos para a maioria dos casos.

Na prática, a abordagem mais comum aos modelos de CEM é baseada em modelos experimentais simples, testados e validados com recurso a ensaios. Posteriormente os resultados são extrapolados para sistemas mais complexos.

No presente documento, o estudo efetuado tem sempre como objetivo a temática da CEM sobre o ponto de vista da automação industrial em relação aos fenómenos externos, nomeadamente as linhas de comunicação e ligação a equipamentos de campo.

3.3 Perturbações

Em termos genéricos, uma perturbação consiste na presença de um sinal indesejado (uma diferença de potencial perturbante e consequentemente uma corrente perturbante), sobreposto a um sinal útil. Consequentemente a presença de um sinal perturbante em

adição ao sinal útil vai afetar os valores do sinal resultante, tendo como consequência o funcionamento desadequado do sistema.

De acordo com o modelo teórico da Figura 3-4, as perturbações provêm de uma fonte geradora, propagando-se através de um meio e afetando o circuito “vítima”, dando origem às indesejáveis alterações dos sinais úteis nos circuitos da mesma.

As secções seguintes pretendem explicar a forma como as perturbações podem surgir no circuito “vítima”, em função do meio e forma como são transmitidas.

3.3.1 Perturbações conduzidas.

As perturbações que ocorrem por condução propagam-se entre a fonte geradora e a vítima pelos condutores que as interligam, quer seja, por exemplo, o circuito de alimentação, ou condutores de um determinado *bus* de dados, sinais de dados digitais ou analógicos.

A forma como as perturbações se sobrepõem ao sinal útil pode ser medido de várias formas, em função da maneira como circulam as correntes interferentes e se criam as respetivas diferenças de potencial medidas, normalmente em relação ao referencial da massa ou terra.

3.3.1.1 Perturbações em modo diferencial:

Uma perturbação que surge em modo diferencial, produz uma corrente resultante que circula em direções opostas por entre dois condutores de interligação do circuito, adicionando-se assim uma diferença de potencial entre eles.

A figura seguinte representa o diagrama equivalente para um circuito simétrico e para um circuito assimétrico.

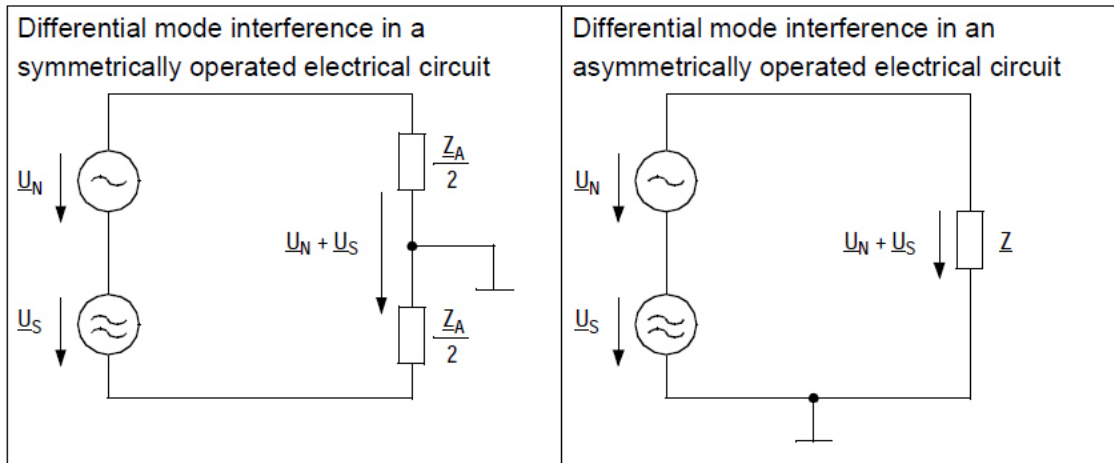


Figura 3-5 Perturbações em modo diferencial[14]

Sendo:

U_N – Tensão correspondente ao sinal útil

U_S – Tensão induzida por interferências.

Z – Impedância (Ex: Equipamento de medida)

As causas comuns para este tipo de interferências são:

- Osciladores de fontes comutadas ou variadoras de velocidade e as harmônicas correspondentes.
- Oscilações criadas pelas capacidades ou indutâncias parasitas dos próprios esquemas de cablagem.

3.3.1.2 Perturbações em modo comum:

Este modo de propagação descreve a situação em que a corrente resultante das perturbações circula por vários condutores na mesma direção, sendo o retorno efetuado pela ligação de terra, de massa, ou eventual malha de blindagem de algum condutor.

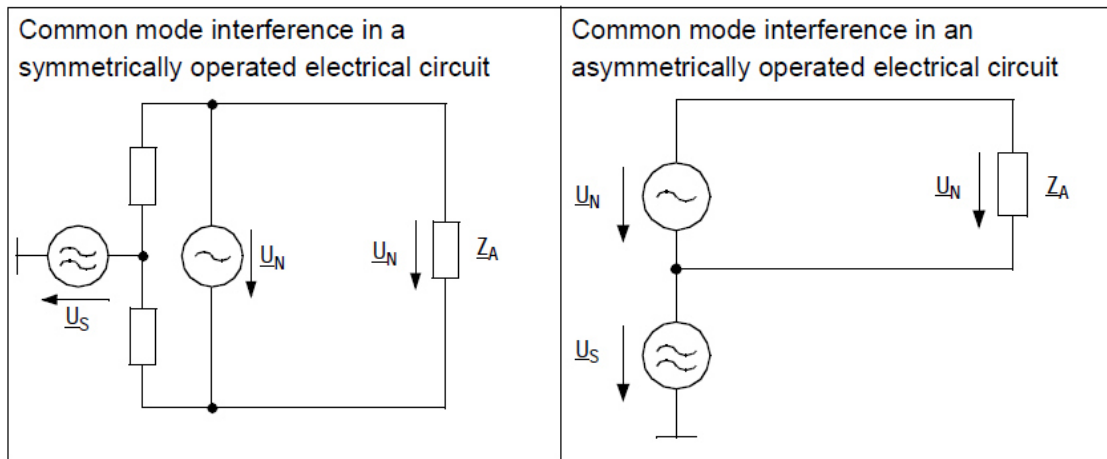


Figura 3-6 Perturbações em modo comum [14]

Sendo:

U_N – Tensão correspondente ao sinal útil

U_S – Tensão induzida por interferências.

As interferências em modo comum podem surgir pelo acoplamento capacitivo ou indutivo entre um determinado cabo de dados ou sinal e um meio envolvente. As origens podem ser diversas, a título de exemplo:

- O sinal enviado por um transmissor propaga-se a um cabo da vizinhança do circuito.
- O sinal de relógio de um CPU propaga-se ao sinal aos circuitos de transmissão.

3.3.1.3 Perturbações combinadas modo comum / modo diferencial

Quando juntamos todas as características de uma linha de comunicação não ideal, temos de considerar que existem desequilíbrios entre as impedâncias, bem como capacidades parasitas e indutâncias parasitas entre os condutores da linha de comunicação, bem como entre estes e a massa. Assim, podemos construir um modelo que mais se aproxima do modelo real.

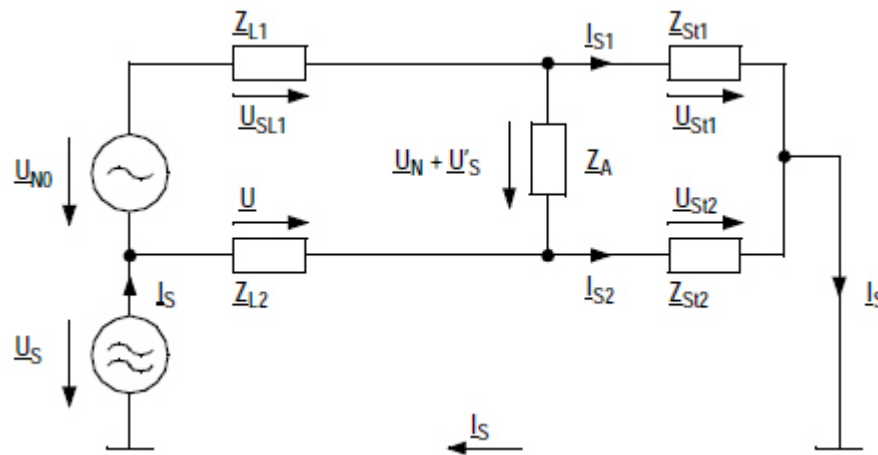


Figura 3-7 – Modelo representativo de circuito com perturbações combinadas em modo comum / modo diferencial [14]

Sendo:

U_n – Tensão correspondente ao sinal útil

U_s – Tensão induzida por interferências.

U_s' – Tensão composta pelo efeito de $U_n + U_s$

Z – Impedância de entrada dispositivo no recetor.

$Z_{L1,2}$ – Diferença entre a impedância os ramos 1 e 2 da linha.

$Z_{st1,2}$ – Impedâncias parasitas.

I_S – Corrente resultante da interferência.

$I_{S1,2}$ – Corrente parcial nos dois ramos da linha de comunicação.

3.3.2 Perturbações por acoplamento.

As interferências podem afetar de várias formas os circuitos elétricos, espalhando-se posteriormente pelos mesmos. Na presente secção pretende-se tipificar o modo como podem surgir o acoplamento entre a fonte a vítima e as suas consequências. A interferência pode passar da fonte geradora para o circuito da vítima através de um condutor (guiada), ou pelo espaço entre eles (radiada).

Dependendo da frequência do sinal proveniente da fonte geradora e da sua relação com a imunidade que o recetor possui face a essas frequências, podemos tipificar da seguinte origens de perturbações:

- Baixa frequência. – Quando o comprimento de onda do sinal interferente é superior ao dimensionamento do equipamento utilizado no emissor e recetor do circuito de medida ou comunicação, os mecanismos de transferência do campo elétrico e magnético são distintos. Dessa forma consideramos:
 - Acoplamento Galvânico, com impedâncias comuns entre o emissor e o recetor, permite a transmissão de interferências.
 - Acoplamento Indutivo, permite a transmissão de interferências pelo campo magnético.
 - Acoplamento Capacitivo, permite a transmissão de influências pelo campo elétrico.
- Alta-frequência – Quando o comprimento de onda é inferior ao suportado pela capacidade construtiva do equipamento emissor e recetor, ocorrem interferências pela influência do campo eletromagnético.
- Influência das ondas hertzianas sobre as linhas de comunicação

3.3.2.1 Mecanismos de acoplamento

Define-se por acoplamento, a interligação entre dois circuitos ou sistemas através de pontos comuns, de forma que possam existir diferenças de potencial entre eles e consequente circulação de correntes. Estes pontos de ligação surgem, normalmente,

através de indutâncias parasitas (combinação de capacidades, indutâncias e resistências), que são função da frequência de operação dos dispositivos.

O esquema seguinte sistematiza os diversos mecanismos de acoplamento possíveis de provocar interferência num sistema.

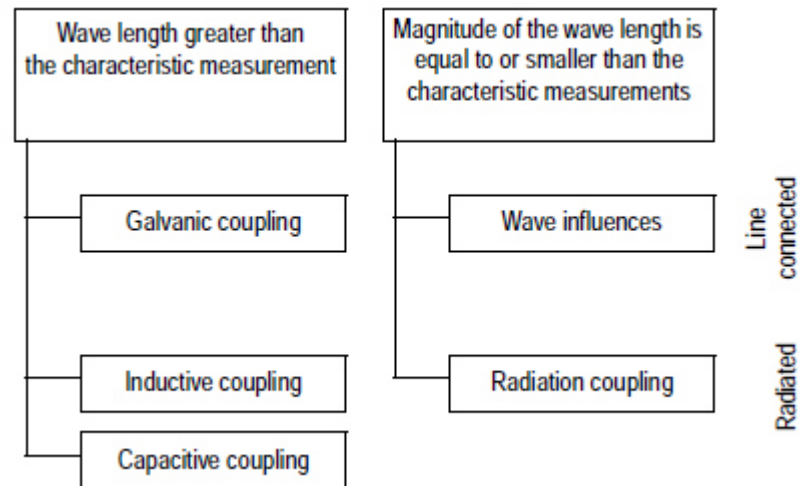


Figura 3-8 – Diagrama que sistematiza aos modos de acoplamento [14]

3.3.2.2 Acoplamento galvânico.

Quando dois circuitos partilham se interligam entre si num determinado ramo, as ações de cada um interferem sobre o outro, uma vez que a impedância dos ramos partilhados é maior que zero. Este fenómeno acentua-se com o aumento da frequência, uma vez que a impedância tende a aumentar.

Situações típicas de interferência galvânica encontram-se em:

- Vários circuitos alimentados da mesma fonte. (acoplamento pela fonte de alimentação)
- Vários circuitos partilhando um ramo da ligação à massa. (Acoplamento pela massa).
- Vários circuitos partilhando um condutor de referência, como por exemplo uma tensão de referência. (ex: sinal de 10 V para transdutores de 110V).

O circuito seguinte exemplifica a ação das operações de um contator no circuito 1, sobre um circuito de uma entrada de um PLC, em que o mesmo deveria estar a ler o valor “0”. No momento da operação do contator, uma vez que $Z_L > 0$, isto pode elevar a tensão de tal forma que o PLC vai momentaneamente ler um valor lógico “1”.

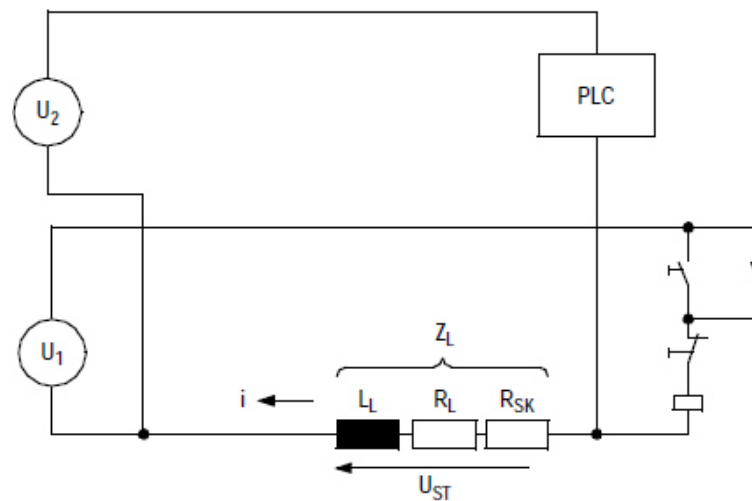


Figura 3-9 – Modelo de circuito para representar acoplamento galvânico.[14]

Sendo:

U_1 e U_2 – Tensão correspondente aos circuitos 1 e 2.

U_{st} – Tensão resultante da interferência

Z_L – Impedância do ramo comum aos dois circuitos.

As operações de equipamentos eletromecânicos provocam nos circuitos adjacentes perturbações, designadas na indústria como “*drops*”, que podem ser calculadas da seguinte forma.

- No ramo comum produz-se uma variação brusca da corrente DI .
- O “*drop*” de tensão calcula-se pela seguinte fórmula.

$$U_S = \Delta I * \left[R_L + R_{SK}(f) + L_L + \frac{1}{\Delta t} \right] \quad (1)$$

Sendo R_L o valor da resistência do circuito e R_{sk} o valor do incremento da resistência pelo efeito pelicular “*skineffet*”, que é uma função da frequência.

Uma simplificação do calculo de R_{SK} pode ser dada pela fórmula, seguinte.

$$R_{SK} = R_L * K * \sqrt{f}c \quad (2)$$

Nesta fórmula, a variável K , que pode ser designada por fator de geometria, varia de forma inversamente proporcional à superfície do condutor. Além disso, para a mesma secção apresenta valores menores de impedância para condutores de secção retangular.

3.3.2.3 Acoplamento Indutivo.

O acoplamento indutivo, semelhante ao efeito existente nos transformadores, ocorre pelo campo magnético entre circuitos que percorrem um caminho paralelo entre si.

A variação de corrente num dos condutores provoca uma flutuação do campo magnético e, conseqüentemente, induz uma diferença de potencial no condutor adjacente. Esta diferença de potencial vai adicionar-se ao sinal existente, funcionando como forma de perturbação.

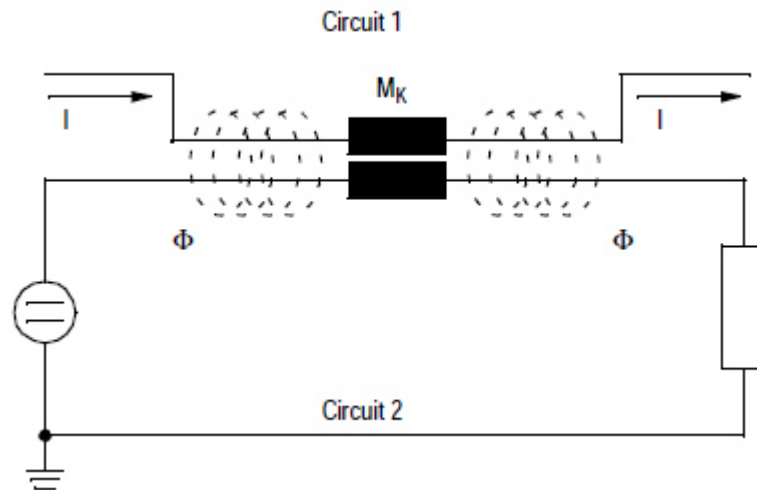


Figura 3-10 Modelo de circuito para representar acoplamento Indutivo. [14]

No modelo da Figura 3-10 a indução entre o circuito 1 e 2 pode ser definida pela fórmula:

$$U_{ST} = M_{K*} \frac{di}{dt} \quad (3)$$

O fator de acoplamento M_k , ou indutância mútua, é determinado pela organização dos circuitos entre si em termos de geometria, nomeadamente pelo caminho que percorrem em paralelo (L), pela distância entre os condutores (d) e pelo seu afastamento em relação ao plano de terra ou massa (h).

Um cálculo preciso do M_k pode ser obtido com o recurso a um *software* de modelação, no entanto é referenciado em literatura uma fórmula relativamente precisa para dois condutores paralelos sobre um plano de terra infinito [15].

$$M_{12} = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} \ln \left[1 + 4 \cdot \frac{h_1 h_2}{d^2} \right] \quad (4)$$

Esta fórmula permite-nos ter uma ideia dos níveis de influência em situações comuns, como por exemplo a coabitação de cabos de potência e relação a cabos de sinal num mesmo caminho de cabos.

Um exercício que podemos fazer é o de imaginar um condutor de potência a circular em paralelo com um condutor de sinal, sobre um caminho de cabos metálico, ao longo de 100m. O caminho de cabos funciona neste caso como plano de terra.

A título de exemplo, consideramos uma variação de corrente de 100A durante um período de 10uS. Para o exercício consideramos que os mesmos se encontram afastados do plano de terra cerca de 2mm, correspondente à altura do isolamento, e num dos casos circulam amarrados entre si, separados apenas pelos dois isolamentos correspondendo a 4mm, e no outro são afastados de 10cm.

d(mm)	Mk (H/m)	Mk*L (H)	Ust (V)
4	6,93E08	6,93E06	69,31472
100	1,60E10	1,60E08	0,159872

Tabela 3-1 - Exemplo de cálculo de interferência por acoplamento Indutivo.[12]

A tabela anterior apresenta os cálculos que aproxima o que pode acontecer em termos de tensão induzida sobre o condutor de sinal. Podemos assim compreender a necessidade do afastamento de condutores de sinal e de potência.

3.3.2.4 Acoplamento Capacitivo.

O acoplamento capacitivo ocorre por influência do campo elétrico. Existem sempre capacidades parasitas entre os condutores, correspondendo o ar e o isolamento dos cabos ao respetivo dielétrico. Estas capacidades possuem valores determinados pela organização dos circuitos entre si, bem como pela superfície dos condutores e pelo dielétrico. O valor das capacidades parasitas é relevante ou não consoante a frequência dos sinais que estão a ser usados.

Considerando o modelo da Figura 3-11, mostra-se as principais capacidades existentes entre os condutores.

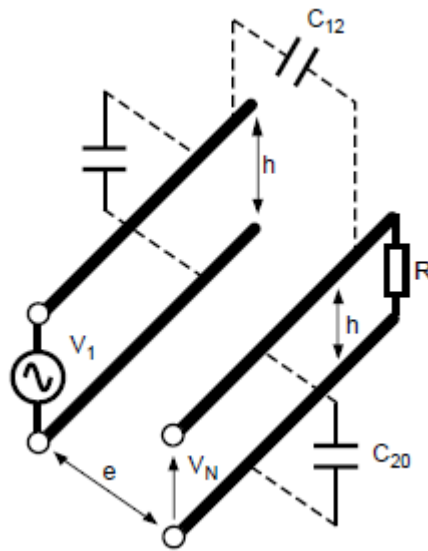


Figura 3-11 – Modelo de capacidade entre dois condutores adjacentes [11]

Sendo:

V_1 – Fonte de tensão perturbadora

V_n – Tensão no circuito da vítima.

C_{12} – Capacidades parasitas entre cabos adjacentes.

C_{20} – Capacidade parasita entre cabos do mesmo par.

Podemos aproximar a influência entre a fonte de perturbação e o efeito na vítima da seguinte forma, em função da frequência.

$$\left| \frac{V_n}{V_1} \right| = 2\pi f \frac{C_{12}}{R(C_{12} + C_{20})} \cong 2\pi f C_{12} \quad (5)$$

O modelo normalmente usado para exemplificar o efeito das capacidades parasitas na perturbação provocada num circuito por outro adjacente é traduzido na Figura 3-12.

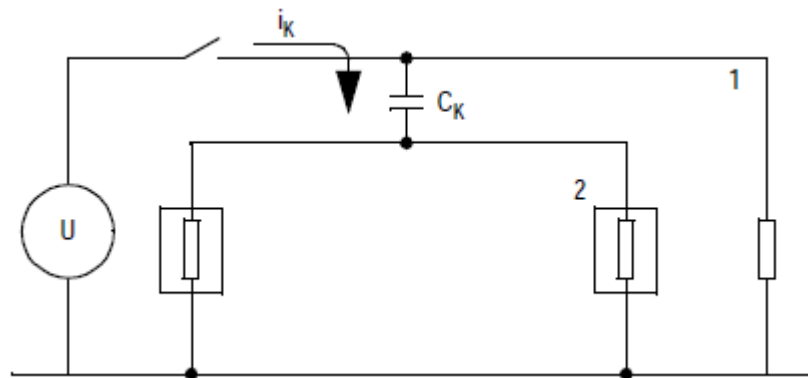


Figura 3-12 Modelo de circuito para representar acoplamento Capacitivo. [14]

A fórmula seguinte quantifica o valor da perturbação causada em função do fator de acoplamento C_k , em termos de corrente.

$$I_{ST} = C_k \cdot \frac{du}{dt} \quad (6)$$

Se relacionarmos com a impedância da linha, podemos colocar o valor da interferência causada em forma de tensão.

$$U_{ST} = C_k \cdot Z_2 \cdot \frac{du}{dt} \quad (7)$$

No entanto, também podemos ver na fórmula (6) que a tensão gerada na vítima é proporcional à impedância do seu circuito. Dada a tendência em aumentar a impedância dos circuitos, por exemplo das entradas digitais dos PLC's ou circuitos de medida, isto

leva a um aumento da fragilidade destes mesmos circuitos a condições provocadas por impedâncias capacitivas.

Os fabricantes apresentam normalmente os valores de capacidade dos condutores em F/Km.

Normalmente os condutores de comunicação são desenvolvidos de forma que as capacidades parasitas não sejam relevantes, pelo que o uso de condutores adequados é suficiente para que este fenómeno não seja relevante. No entanto, ao nível dos dispositivos de ligação, bornes, etc, não devem ser descuradas as medidas de mitigação das capacidades parasitas.

Por analogia com o modelo do condensador, a redução da capacidade passa pela redução da área exposta dos dois circuitos e pelo aumento da distância entre as superfícies ou alteração do dielétrico, que normalmente é o ar.

3.3.2.5 Acoplamento por radiação.

A presença de ondas eletromagnéticas, com comprimento de onda inferior às dimensões dos componentes eletrónicos usados na conceção dos equipamentos, é suscetível de serem transmitidas aos mesmos, provocando fenómenos de excitação.

As fontes deste tipo de sinais podem ser equipamentos RF ou equipamentos móveis de comunicação. Condutores em forma de anel, dipolos, linhas de massa podem funcionar como antenas.

$$U_0 = E_0 \cdot h_{eff} \quad (8)$$

A fórmula anterior relaciona a intensidade do campo elétrico e o ganho da antena com a tensão da interferência resultante.

Um dos pontos frequentes onde se poderá formar efeito de antena é pelo designado “anel de massa”. Conforme mostra a Figura 3-13, existe a oportunidade de se formar

uma antena em que o nível de sinal perturbante atinge valores consideráveis, quando existe um grande distanciamento entre o cabo de sinal e as massas, criando uma antena de área considerável.

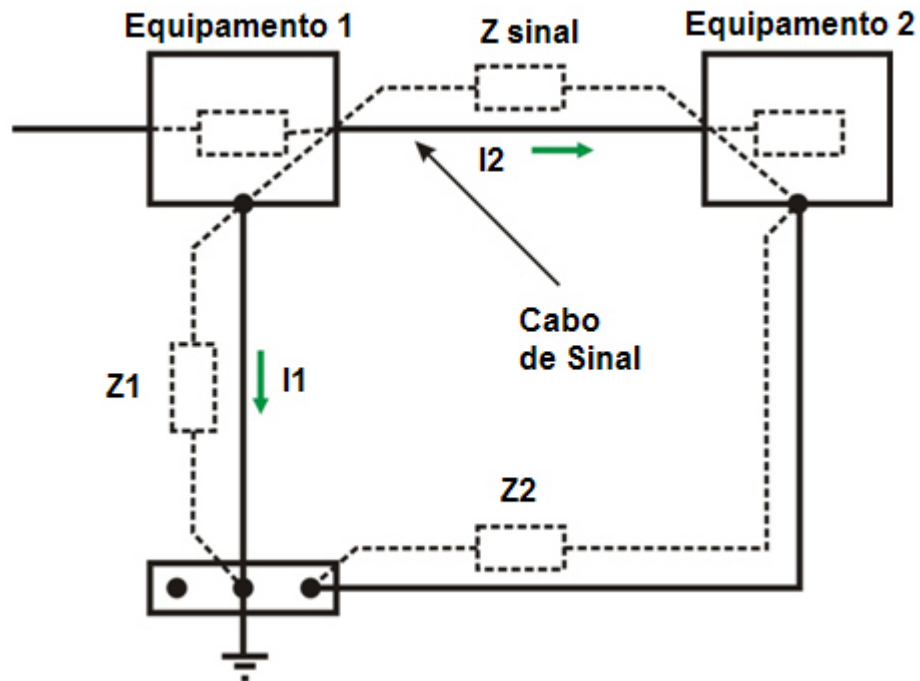


Figura 3-13 – Anel de massa[16]

3.3.2.6 Acoplamento por ondas estacionárias.

Em resultado do acoplamento indutivo e capacitivo entre os condutores, surgem alterações imprevisíveis na impedância da linha. Quando a impedância da linha é diferente da impedância das terminações ou recetores, surgem fenómenos de reflexão dos sinais que estão a ser transmitidos. Estes sinais refletidos, originam campos eletromagnéticos, que são eles próprios, fontes de perturbação.

Em termos industriais, existe normalização clara sobre a qualidade dos condutores aplicáveis, pelo que normalmente basta respeitar o uso de equipamento adequado para evitar estes fenómenos.

3.4 Ligação de Terras e Massas

A construção de sistemas de ligação a terras, são metodologias que por si só podem ser objeto de estudos individuais e bastante complexos. Em termos práticos as instalações são dotadas de ponto de ligação à terra (designado de ligador de terra), existindo legislação específica para o efeito. Na distribuição elétrica a ligação à terra fica disponível através do condutor PE, marcado pelas cores verdes e amarelo.

A designação de massa, surge ao nível dos elementos de automação industrial, como o referencial de tensão zero volts. Habitualmente a “massa” encontra-se interligada à terra PE. No entanto, no sistema de distribuição elétrica mais comum, o condutor de neutro (N) encontra-se também ele ligado na origem à terra física através elétrodos. Por esta forma de conexão, não podemos descurar que a impedância entre a terra PE e o neutro N é um valor finito.

A legislação aplicável em termos de distribuição elétrica garante a segurança de pessoas e bens estabelecendo a tensão de contacto num nível seguro quando inferior a 50V.

$$50 < \Delta I \cdot R_{PE} \quad (9)$$

Pela fórmula acima, asseguramos que a instalação é segura para o utilizador, relacionando a resistência de ligação à terra R_{PE} com a corrente máxima do dispositivo automático de corte ΔI . Se assumirmos para este ultimo um valore de 1A, podemos ter uma resistência de terra próxima de 50 Ω , pela legislação em vigor.

A figura seguinte indica as potenciais impedâncias existentes numa instalação comum em que pelos pontos E1, E2 e E3 se ligam à terra física, tanto ao nível do condutor PE como do condutor N. Nomeadamente por causa do fenómeno do acoplamento galvânico descrito na secção (3.3.2.2), a implementação prática da solução de automação deve mitigar os efeitos derivados do esquema de ligação à terra na Figura 3-14. Na prática, o

presente esquema pretende salientar a importância de garantir impedâncias de baixo valor nos pontos de ligação a E1, E2 e E3 que a Figura 3-14 exemplifica.

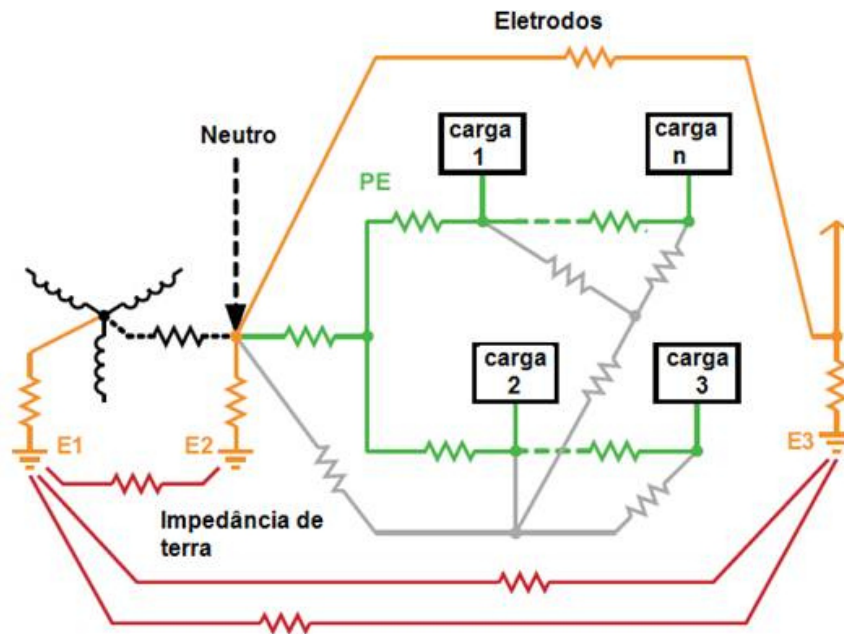


Figura 3-14 – Modelo de ligação à terra de uma instalação.[16]

Estas impedâncias são minimizadas, quer pela ligação terra através dos eletrodos, quer pelo aumento da secção do condutor de terra e massa. A impedância deve ser controlada, tanto para baixas e altas frequência, respeitando as regras adequadas em relação à disposição dos condutores.

Outra técnica de instalação que influencia a imunidade à interferência, principalmente pelos fatores relacionados com acoplamento galvânico (3.3.2.2) e perturbações por radiação (3.3.2.5), têm a ver com a forma de ligação à massa. A Figura 3-15 e Figura 3-16, representam o comportamento das correntes de fuga e interferentes em cada um dos casos, sendo claro a adoção da técnica descrita na Figura 3-16 como benéfica face à anterior.

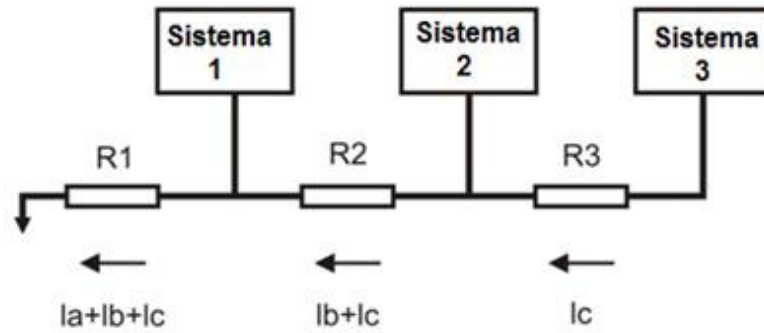


Figura 3-15 – Ligação à terra em “multiponto”.

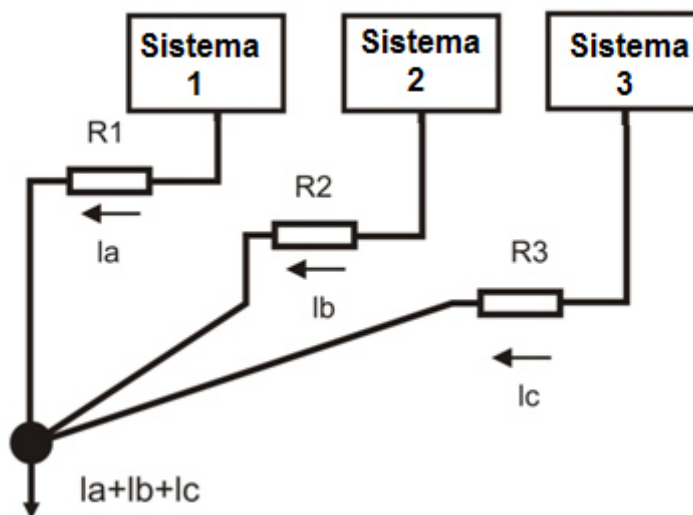


Figura 3-16 – Ligação à terra em ponto único.

3.5 Medidas de mitigação de cada tipo de acoplamento.

A tabela seguinte sistematiza um conjunto de relações mais prováveis que se podem estabelecer entre as técnicas de instalação e os tipos de interferências que podem surgir, ou que podem ter transferidas. Estabelece também a relação entre as formas de instalação e as modos de acoplamento mais passíveis de proporcionar a transferência das perturbações.

	Acoplamento pelos materiais			Pelo Ar	
	Galvânico	Indutivo	Capacitivo	Radiação	Estacionárias
Ligação à terra e massa	X				
Isolamento elétrico	X				
Equilíbrio dos circuitos		X	X	X	
Bidirecional idade das linhas		X	X	X	
Disposição da cablagem		X	X	X	
Disposição dos Equipamentos		X	X	X	
Blindagem		X	X	X	
Filtros	X	X	X	X	X
Secção dos condutores	X				X
Diagrama das ligações	X	X	X	X	X

Tabela 3-2 – Relações entre as técnicas de instalação e a forma de acoplamento potencial.[14]

Na secção seguinte são apresentadas as medidas práticas inerentes à mitigação de cada fenómeno

3.6 Medidas Práticas de Implementação

As boas práticas de instalação dos equipamentos são largamente apresentadas em múltiplos manuais de fabricante ou publicações técnicas sobre o tema. Muitas vezes, porém, a estas não é dada a importância necessária durante a implementação, pelo desconhecimento dos fenómenos que estão por trás das mesmas. E, como na implementação por vezes é necessário encontrar compromissos, a ponderação que é dada pode não ser a mais racional.

Em termos construtivos, os equipamentos são ensaiados em fábrica e normalmente sujeitos a ensaios independentes e confiáveis. Posteriormente, são documentadas as suas performances e os enquadramentos normativos aplicáveis.

As preocupações na implementação de soluções de automação industriais podem dividir-se em três níveis descritos:

- Seleção dos equipamentos.

- Layout de implementação dos equipamentos.
- Layout e distribuição da cablagem.

Nas subsecções seguintes tento sistematizar alguma informação relevante dividida pelos respetivos temas.

3.6.1 Layout de implementação dos equipamentos

O layout dos equipamentos é determinante na performance da implementação. A Figura 3-17 ilustra uma aplicação típica de um quadro de automação industrial. No lado esquerdo da figura, são ilustrados os acionamentos de motores, compostos por variadores de frequência e equipamentos eletromecânicos como por exemplo contactores. No lado direito são instalados os equipamentos de automação. Associados aos acionamentos motores temos a cablagem de potência. Do lado da automação afluem os condutores ou cabos relacionados com os sinais de IO, analógicos e digitais, e sinais de comunicação. Tipicamente temos sinais de baixa tensão e corrente normalizados, como por ex:

- Sinais digitais I/O de 24VDC.
- Sinais analógicos de 420mA ou 110VDC.
- Sinais de comunicação, ex: ModBus sobre RS485.

A abordagem relativa aos condutores de sinais e de potência é abordada na secção seguinte.

Relativamente às influências entre os vários equipamentos em função do seu layout, temos a ação dos fenómenos combinados ou não, de radiação transmitida por acoplamento capacitivo e indutivo e por radiação, conforme sistematizado na Tabela 3-2. O detalhe sobre as distâncias que separam os equipamentos pode ser encontrado habitualmente nos manuais de cada dispositivo.

A separação designada na Figura 3-17 como “*partition panel*”, deverá ser construída em material metálico de espessura significativa, para atenuar a interferência gerada pelos campos elétricos e magnéticos.

Quando os níveis de perturbação são relevantes, poderá ser considerada a possibilidade de montagem dos equipamentos em quadros eléctricos separados. Como a disposição do equipamento condiciona a disposição da cablagem poderá ser necessário articular a arquitetura com as recomendações observadas na secção 3.6.2.

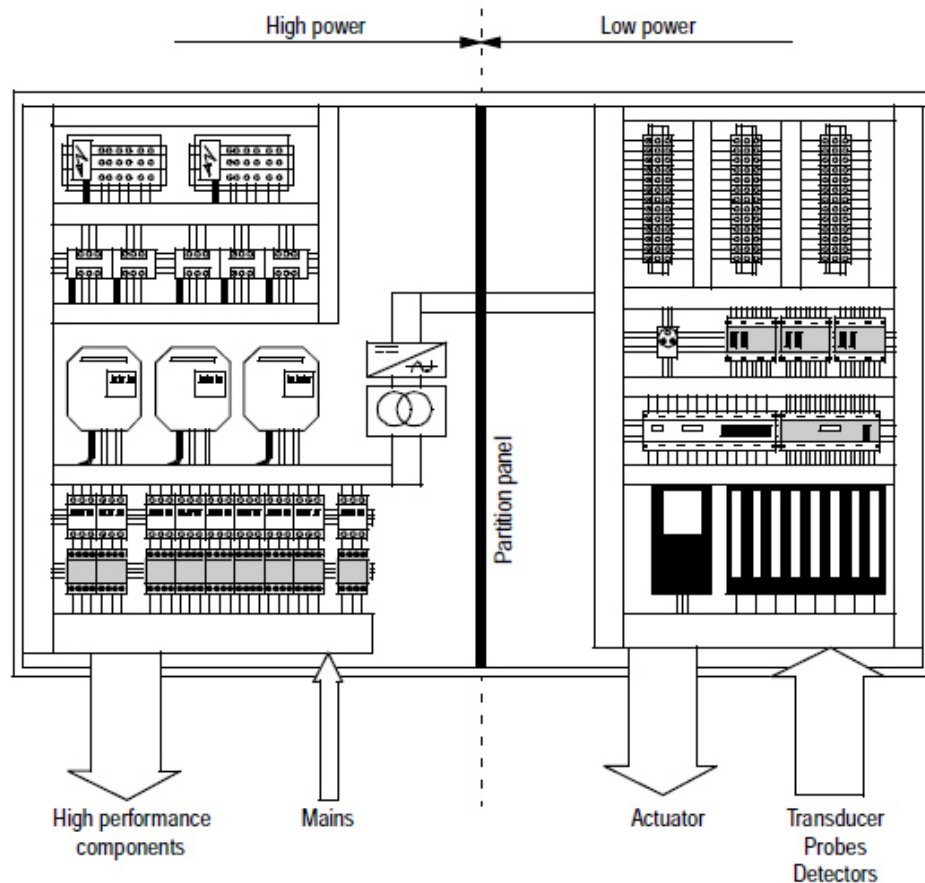


Figura 3-17 Layout de implementação dos equipamentos [14]

3.6.2 Layout da distribuição da cablagem

Num ambiente industrial, os sinais são classificados em 4 categorias de acordo com a sua performance em termos CEM. Esta segmentação permite criar uma linguagem uniforme para que possam ser criados procedimentos compreensíveis. Não é, no entanto, estanque a classificação dos circuitos sendo por vezes difícil definir a fronteira entre eles. Com base nesta classificação são aplicadas regras de cablagem diferenciadas.

Classificação	Performance CEM	Tipo de Aplicação
Classe 1 (Sensíveis)	Muito sensíveis a interferências	Sinais Analógicos (Ex: <i>Loops</i> de 4-20mA; 0-10VDC; Termopares). Soluções de comunicação adequadas para pequenas distâncias.
Classe 2 (Moderadamente Sensíveis)	Moderadamente sensíveis a interferências. Suscetíveis de perturbar Classe 1	Entradas digitais e Linhas de comunicação para distâncias médias/altas.
Classe 3 (Moderadamente Interferentes)	Moderadamente interferentes. Suscetíveis de perturbar Classe 1 e Classe 2	Saídas Digitais de comando e controle. (Ex. Comando de relés). Fontes AC e Fontes DC de maior potência.
Classe 4 (Interferentes)	Suscetíveis de todas as outras Classes	Cabos de Potência em geral. Variadores de frequência para acionamento motor, e fontes comutadas de potência.

Tabela 3-3 - Classificação de cablagem em função da performance CEM.[14]

A convivência de cabos de categorias diferentes é inevitável, pelo que o enquadramento da vária informação disponível, assente sobre as diversas normas aplicáveis a equipamento industrial, estabelece o seguinte esquema de princípios.

As medidas da Figura 3-18 enquadram as medidas ideais mínimas, na situação de cabos dispostos em paralelo em distâncias inferiores a 30 metros.

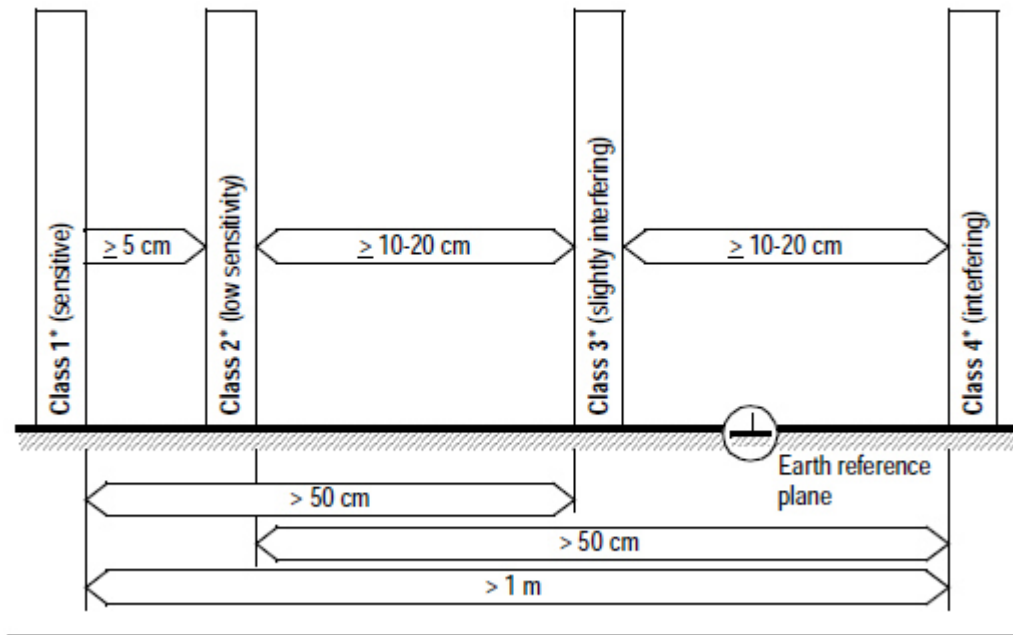
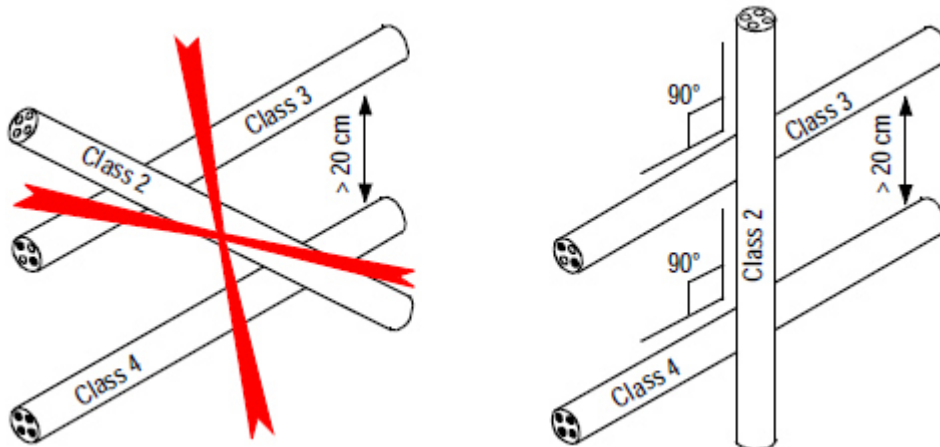


Figura 3-18 – Medidas de afastamento ideais recomendadas. [14]

Outra questão prática relevante tem a ver com o cruzamento de condutores de categorias diferentes. A mitigação dos efeitos do acoplamento indutivo e capacitivo foram já discutidos nas seções [3.3.2.3] e [3.3.2.4].



3-19 – Distribuição dos condutores no campo em função da categoria. [14]

3.6.3 Seleção e instalação da cablagem

O tipo de condutores usados é determinante para garantir a CEM do sistema. Consoante a classificação do circuito, deverá ser usado o condutor ou cabo que cumpra a regulamentação específica para o efeito. No entanto, é uma premissa geral que a blindagem dos condutores melhora as condições de CEM, minimizando a interferência entre os mesmos. Mas, esta situação só é totalmente verdadeira, se também forem observadas as regras de equipotencialização adequadas.

A Figura 3-20 representa a ligação das soluções com melhor performance para circuitos da classe 1. A utilização de condutores trançados, agrupados em cabos que podem ser blindados, muito adequada para sinais transmitidos em modo diferencial e os cabos com múltiplos condutores para sinais em modo comum.

A figura mencionada pretende ainda representar a importância da ligação à massa da blindagem dos condutores em ambos os extremos.

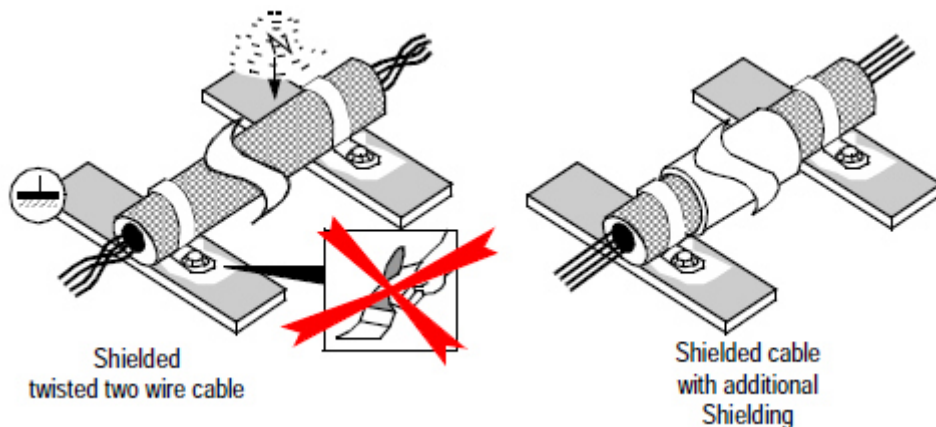


Figura 3-20 – Exemplo de equipotencialização de cabos de sinais classe 1.[14]

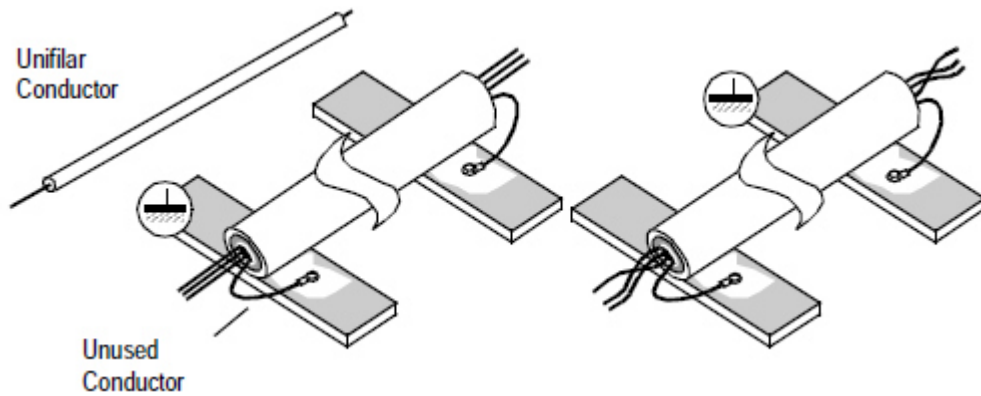


Figura 3-21 – Exemplo de distribuição de cabos e condutores de sinais classe 2. [14]

A Figura 3-21 descreve a forma como se aconselha a distribuição de sinais de classe 2, que pode ser em condutores ou agrupados em cabos. Uma recomendação forte para a cablagem deste tipo de sinais é a ligação à massa de eventuais condutores de reserva, para evitar os efeitos descritos na secção (3.3.2).

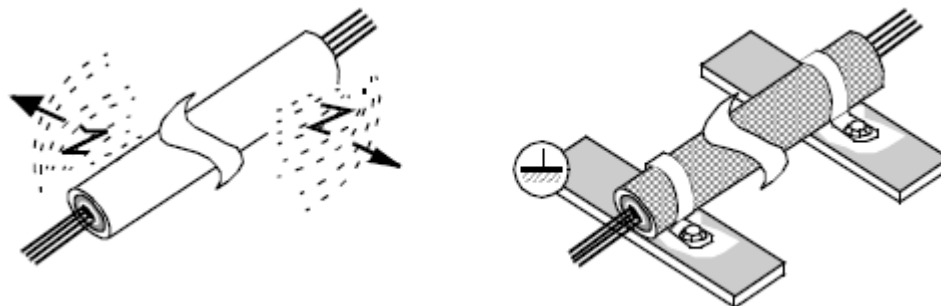


Figura 3-22 - Exemplo de distribuição e equipotencialização de cabos de sinais classe 3. [14]

Os cabos ou condutores de classe 3 são suscetíveis de provocar interferências nos circuitos de classe inferior. As recomendações apontadas na Figura 3-22: são acautelar a distância face a outros circuitos suscetíveis de sofrerem interferências, e a eventual utilização de blindagem que deverá ser obrigatoriamente ligada à massa em ambos os extremos.

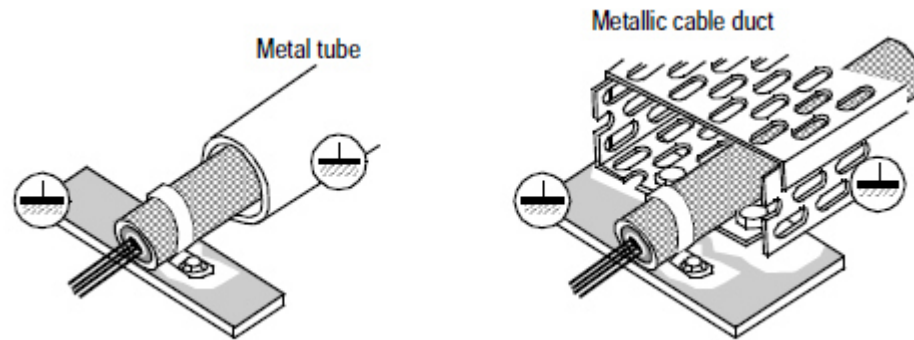


Figura 3-23 - Exemplo de distribuição e equipotencialização de cabos de sinais classe 4. [14]

Os circuitos de classe 4 podem ser fortemente interferentes com todos os das outras classes, principalmente quando têm origem em equipamentos como, por exemplo, variadores de frequência. Dependendo dos comprimentos, poderá ser necessárias medidas extraordinárias, como por exemplo uma blindagem extra, devidamente equipotencializada e ligada à massa. A Figura 3-23 pretende demonstrar esses procedimentos.

No seguimento do que foi explanado nesta subsecção, é normalmente aceite que a utilização de blindagem nos condutores é uma boa prática para a redução da interferência entre circuitos de classes diferentes, melhorando a CEM do sistema. Porém, a mesma só é efetiva se também forem efetuadas as ligações de equipotencialização (termo usado para referir a colocação de ligações ao mesmo potencial elétrico) corretas. A Tabela 3-4 sistematiza o impacto da forma de equipotencialização das blindagens dos cabos.

Tipo de ligação à terra.	Vantagens efetivas	Restrições
Ligação à massa em ambos os extremos. Solução considerada efetivamente eficaz.	Eficaz sobre perturbações de alta e baixa frequência. Eficaz na redução de fenómenos de ressonância. Elimina a diferença d potencial entre a massa e o cabo. Suprime as perturbações de alta-frequência presentes nos sinais.	Podem surgir correntes de fuga à terra, em condutores de baixo isolamento, se o sinal transmitido for de alta-frequência e o cabo for muito longo (normalmente > 50m).
Ligação à massa apenas num dos extremos. Solução potencialmente pouco eficaz.	Protege linhas isoladas (Ex: <i>loops</i> de 4 – 20 mA), contra campos elétricos, apenas de baixa frequência.	Ineficaz contra perturbações geradas por campos elétricos externos de alta-frequência. Possibilidade de a blindagem funcionar como antena.

Tipo de ligação à terra.	Vantagens efetivas	Restrições
		Possibilidade de existirem diferenças de potencial entre a blindagem e a as massas na extremidade não equipotencializada. (Potencial risco de segurança)
Blindagem isolada da massa.	Limita o acoplamento capacitivo.	Ineficaz contra perturbações geradas por campos elétricos externos em qualquer. Ineficaz contra campos magnéticos Possibilidade de existirem diferenças de potencial entre a blindagem e a as massas em ambas as extremidades. (Potencial risco de segurança)

Tabela 3-4 – Resumo do impacto da forma de equipotencialização dos cabos.[14]

4 Desenvolvimento da arquitetura de Automação Industrial

Ao longo desta secção é construída uma metodologia de projeto de uma arquitetura de automação industrial. A construção dessa metodologia tem por base o estudo de diversa literatura[3][1][10] específica sobre o assunto, bem como a experiência prática adquirida em diversos projetos anteriores, encontrando-se alguns deles referenciados no apêndice A. Esta metodologia tem como objetivo definir as etapas base da criação de um projeto de automação industrial, ao nível da sua arquitetura e em particular das suas comunicações, identificando as eventuais debilidades de forma a identificar ao nível do projeto as técnicas de mitigação das mesmas, e posteriormente integrar os necessários procedimentos de teste e medidas de performance de todo o sistema.

Para que a explicação e definição da metodologia não seja abstrata, cada uma das etapas é exemplificada utilizando um caso de estudo, nomeadamente o projeto da “InteSusal – *Integrated Sustainable Algae*”[17] realizado em Belamandil – Olhão.

A descrição desta instalação, que corresponde ao caso de estudo, é descrita em seguida.

4.1 Apresentação do projeto do caso de estudo

O projeto da InteSusal consiste na implementação da automação industrial de quatro reatores de produção de microalgas. Informações referentes ao processo biológico e químico relacionados com a produção estão totalmente fora do âmbito deste relatório, sendo os mesmos confidenciais e protegidos pela legislação aplicável em termos de propriedade intelectual e industrial.

O âmbito da minha participação no projeto foi ao nível da elaboração das soluções em termos de distribuição de energia em baixa tensão, automação e supervisão do processo, bem como das soluções para acionamentos de motores por variação de velocidade.

O processo desenvolve-se em dois sites físicos separados entre si de cerca de duas centenas de metros, ocupando cada um deles uma área de cerca de 2000m².

Para o funcionamento do processo de automação, é necessário recolher as centenas de sinais (estados de equipamentos, medidas de temperatura, acidez, pressão, etc) existentes em ambos os sites, processar os mesmos e atuar as diversas válvulas e sistema de bombagem.

A Figure 4-1 e a Figure 4-2 correspondem a duas capturas de tela do SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), e representam uma parte importante da instalação, que corresponde aos reatores. O Objetivo da apresentação destes diagramas é ajudar a compreender um pouco a distribuição dos sinais e dos acionamentos.

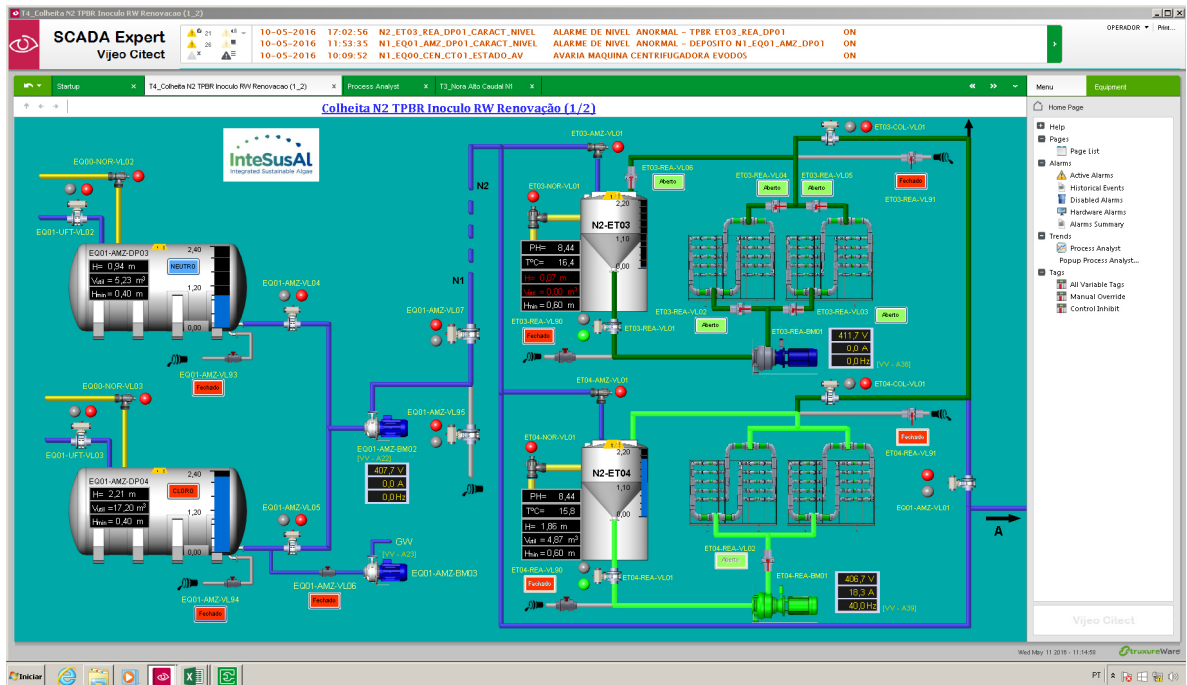


Figure 4-1 - Captura da tela do SCADA – (Reatores 1 e 2)

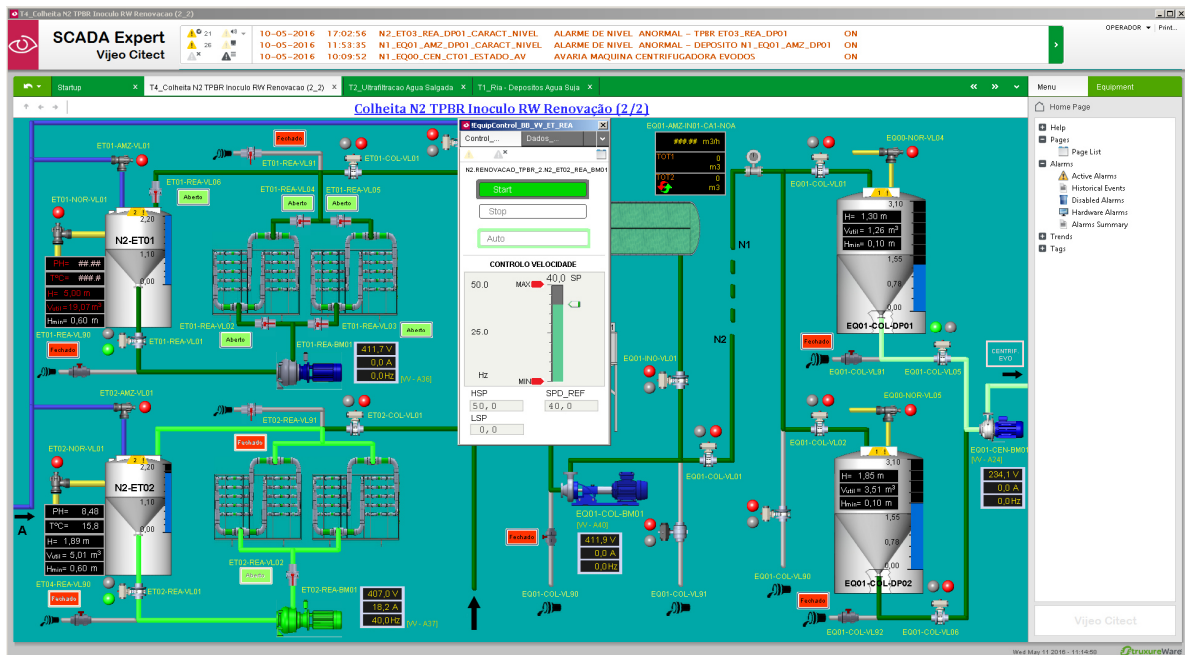


Figure 4-2 - Captura da tela do SCADA – (Reatores 3 e 4 e colheita)

As figuras seguintes (Figure 4-3, Figure 4-4, Figure 4-5 e Figure 4-6) são fotografias da instalação já construída.

Na Figure 4-4, podemos ver um exemplo de um reservatório de refrigeração e controlo, onde se interligam as canalizações hidráulicas munidas das respetivas electroválvulas.

Ao longo das canalizações hidráulicas são (Figure 4-3) são recolhidos diversos sinais de temperatura, de acidez e outros. Existe, portanto, uma grande distribuição espacial dos sinais o que poderá obrigar a uma arquitetura de automação bastante distribuída.



Figure 4-3 - Zona de entrada dos reatores.



Figure 4-4– Tanques de controlo de refrigeração e histerese e válvulas de controlo.



Figure 4-5 - Vista geral dos vários reatores.



Figure 4-6 - Vista sobre os tanques dos agentes químicos de controlo do processo, e dos tanques de recolha.

4.2 Metodologia de definição da arquitetura

A presente secção tem por objetivo sistematizar uma metodologia genérica para construção de arquiteturas confiáveis de automação industrial.

De acordo com os dados recolhidos pela *Schneider Electric* ao longo dos anos, os equipamentos elétricos representam em média, entre 5% a 10% do custo do investimento inicial, mas podem representar cerca de 30% dos custos diretos de operação. O planeamento da arquitetura é determinante no sucesso do projeto, na medida em que estabelece uma parte importante da confiabilidade e performance do sistema.

Desta forma os requisitos chave nos devem guiar na construção de uma arquitetura são:

- Segurança de pessoas e bens.
- Conformidade com a legislação, normas e standards aplicáveis.
- Disponibilidade, operacionalidade e facilidade de manutenção.
- Sustentabilidade e eficiência energética.
- Capacidade de crescimento e escalabilidade, garantindo a consistência da futura da arquitetura.
- Capacidade de evolução e modernização mantendo a operacionalidade.
- Tempo de implementação e gestão de riscos face a imprevistos.
- Custo efetivo inicial e de exploração.

Desta forma, a solução de automação deverá assegurar de forma autónoma a operação adequada de todo o sistema de produção dentro dos parâmetros especificados. Ao mesmo tempo, deverá assegurar a interface com o utilizador, produzindo e gerindo os alarmes e informações necessárias e assegurar o tratamento e armazenamento de dados necessários à otimização futura do processo, em termos de operação e em termos de manutenção e exploração. Não sendo um processo linear, pode, no entanto, ser recomendada uma metodologia com as principais etapas do processo. Também não será totalmente um processo passo a passo, sendo que em determinadas etapas poderá ser necessário voltar atrás no processo para redefinir e recalcular determinadas variáveis.

A Figure 4-7 apresenta uma visão geral das etapas mais importantes da metodologia de elaboração de um projeto para uma solução genérica de automação industrial.

O presente diagrama identifica as etapas base da metodologia, e posteriormente a cada uma delas é dedicada uma seção com o mesmo nome onde a respetiva etapa é detalhada e onde é explicado o que se têm efetivamente de fazer.

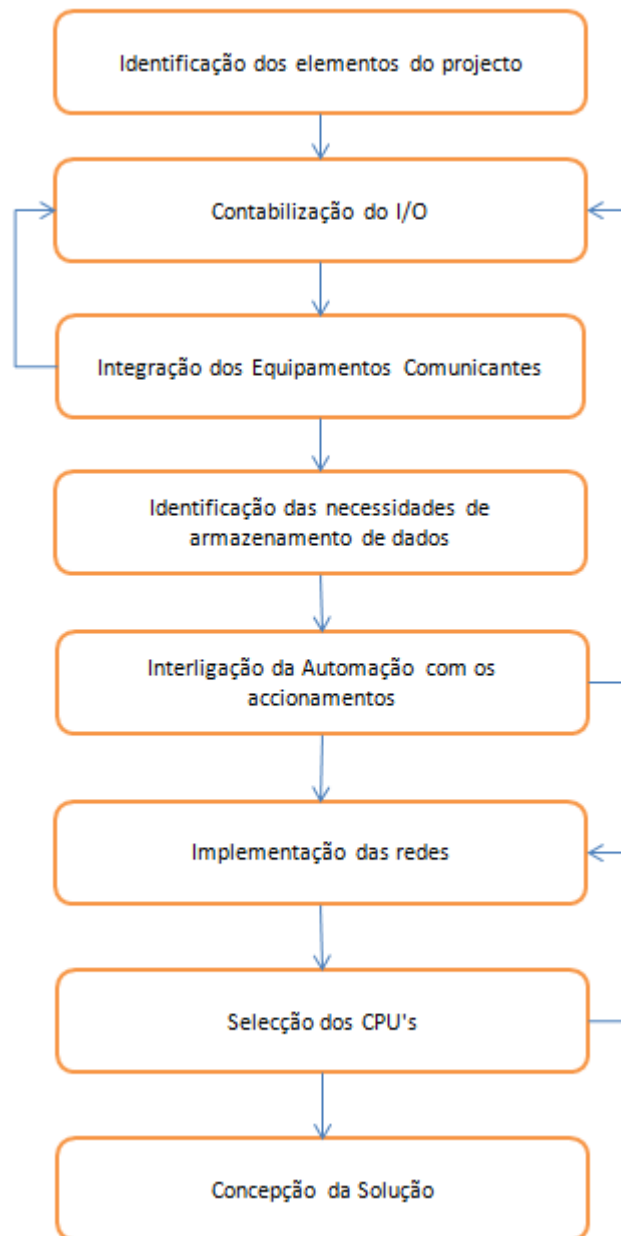


Figure 4-7 – Etapas do processo de projeto de uma arquitetura de Automação Industrial.

4.2.1 Identificação dos elementos do projeto

A primeira abordagem ao projeto, consiste em perceber a sua dimensão. Para tal é necessária uma identificação dos equipamentos presentes no projeto em termos de quantidade, tipo e localização espacial.

Na automação industrial é normalmente adotada uma linguagem comum, para tipificar os elementos do projeto. Uma nomenclatura que podemos adotar na conceção de projetos de automação industrial é a seguinte:

- Automação – Inclui os PLC's, dispositivos de rede, comunicação e módulos de I/O (Input / Output, ou de entrada e saída de dados) locais ou remotos
- Acionamentos – São todos os atuadores ou *drivers* que operam saídas motor, servo motor ou outros elementos suscetíveis de produzir ações mecânicas.
- Detecção – Engloba normalmente dispositivos que nos indicam o estado ou posição de determinados elementos mecânicos ou fluidos. São exemplos os fins de curso ou *encoders*, independentemente da tecnologia ser mecânica, ótica, indutiva, capacitiva ou outro.
- Instrumentação – Esta gama inclui todo o tipo de dispositivos que fornece medidas, sejam elas relativas a grandezas físicas ou químicas. São exemplos os medidores de Ph, de temperatura, de caudal e muitos outros.

Normalmente ao conjunto de dispositivos de deteção e instrumentação designa-se por “equipamento de campo”, pelo fato do mesmo se encontrar disperso no campo, máquina ou unidade industrial. A identificação e caracterização de todo o equipamento de campo e de todos os acionamentos, permite fazer a primeira avaliação da dimensão do projeto.

Cada um destes equipamentos será traduzido em entradas e saídas e/ou variáveis de interligação com a automação. A secção seguinte descreve essa contabilização.

4.2.2 Contabilização das entradas e saídas.

Identificados os dispositivos, efetuamos uma avaliação primária das necessidades em termos de quantidade, tipo e localização espacial de entradas e saídas, por tipo:

- Entradas digitais
- Entradas Analógicas (4-20mA)
- Saídas Digitais
- Saídas Analógica (4-20mA).
- Outras Entradas ou Saídas digitais para equipamentos específicos (Ex Entradas específicas para NTCs, Termopares, sensores 1-10V, ou outros *standards* industriais)

A localização espacial das mesmas, numa primeira, fase será aproximada, uma vez que podem haver fatores que levem a uma reorganização.

A interligação com dispositivos, como por exemplo acionamentos motores, comando de válvulas, equipamentos de medida (normalmente designado equipamento de campo), efetua-se em três níveis:

- Monitorização. Leitura de grandezas de medida disponíveis nos equipamentos, incluindo do estado dos próprios equipamentos. (ex: grandezas elétricas disponíveis num variador de velocidade)
- Controlo. Leitura e ação sobre variáveis inerentes ao processo. (Ex: Definição de um “*setpoint*” de velocidade num variador de velocidade, estado de uma válvula ou leitura da medida de um sensor de pressão numa conduta).
- Comando. Operação de equipamentos em termos de ordem de marcha, paragem ou posicionamento. (Ex. Ordem de marcha ou paragem de um motor, ou abertura ou fecho de uma válvula).

Cada vez mais dispositivos integráveis nas soluções são passíveis de comando, controlo e monitorização por comunicação. A interação entre os equipamentos em qualquer um dos níveis (comando, controlo e monitorização) pode ser feita de uma de duas formas, por protocolo de comunicação, fio a fio, ou combinado ambas as formas. Essa escolha será baseada numa série de critérios descritos na secção (4.2.3). Por essa razão o I/O reservado para estas funcionalidades é contabilizado em separado.

A tabela seguinte é alusiva ao levantamento das entradas e saídas, já agrupadas por “site”, do projeto “InteSusal”., onde as zonas foram definidas de acordo com condições físicas dos locais que permitiam alojar os equipamentos.

Localização e descrição do Site	ED	SD	EA	SA
N1 ZONA SUL				
PLC PRINCIPAL N1 QE GERAL COMANDO ZONA SUL	49	48	22	2
IO extra para equipamentos comunicantes:	15	15	0	15
PLC OU SISTEMA DE E/S DISTRIBUÍDAS N1 QE PARCIAL BOMBAGEM NORA ZONA SUL	1	4	3	2
IO extra para equipamentos comunicantes:	1	1	0	1
N1 ZONA NORTE				
PLC PRINCIPAL N2 QE GERAL COMANDO ZONA NORTE	4	2	3	2
IO extra para equipamentos comunicantes:	15	15	0	15
SISTEMA DE E/S DISTRIBUÍDAS N2 ET01+ET02	36	18	17	2
SISTEMA DE E/S DISTRIBUÍDAS N2 ET03+ET04	34	15	15	2
PLC OU SISTEMA DE E/S DISTRIBUÍDAS N2 QE PARCIAL BOMBAGEM NORA ZONA NORTE	4	5	3	2
IO extra para equipamentos comunicantes:	6	6	0	6

Tabela 4-1 – Levantamento do I/O da instalação.

4.2.3 Integração de equipamentos comunicantes.

A tendência atual é de que a interligação entre automação e os restantes equipamentos seja, cada vez mais, feita por sistemas comunicantes, em substituição dos sistemas convencionais de cablagem. O fator determinante para esta mudança é a evolução tecnológica dos equipamentos industriais ao nível da disponibilidade de capacidades comunicantes e fiabilidade das mesmas.

Entende-se por sistema comunicante, quando a interação entre a automação e o dispositivo se efetua através da troca de comandos ou variáveis, através de um qualquer protocolo de comunicação. Num sistema fio-a-fio, as funções (ordens, comandos ou valores transmitidos) fazem uso de condutores de sinal individuais por cada função.

Partindo do princípio que o sistema de comunicações é fiável, podemos usufruir das várias vantagens dos sistemas comunicantes face aos tradicionais, cablados “fio a fio”, nomeadamente:

- Diminuição do número de condutores.
- Facilidade de manutenção e diagnóstico, com acesso a parâmetros extra.
- Flexibilidade na reorganização física dos dispositivos, mais evidente em equipamento de campo.
- Menor tempo de substituição.
- Capacidade de expansão

Num exemplo comparativo, para uma ligação típica de um PLC com acionamento de motor por variador de velocidade, são necessários os sinais seguintes que são repetidos por cada um dos acionamentos do sistema.

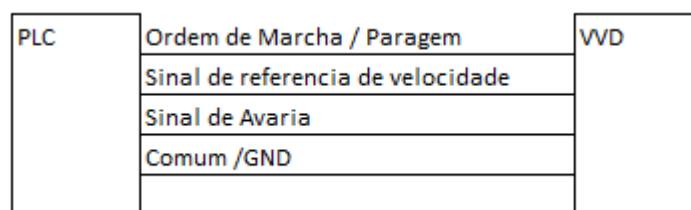


Figura 4-8 – Diagrama típico de interligação cablada entre PLC e acionamento por VVD.

Comparativamente no sistema comunicante em BUS, temos apenas os condutores de comunicação, que no caso de um BUS 485 para comunicação ModBus RTU são apenas dois condutores.

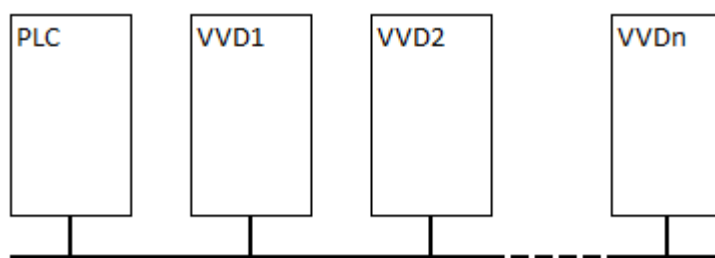


Figura 4-9 – Diagrama típico de uma rede ModBusRS485.

Relativamente aos pontos fracos do sistema comunicantes, são essencialmente os seguintes:

- Necessidade de PLC's com capacidade de gerir as comunicações de forma adequada. Arquiteturas comunicantes só devem ser implementadas em PLC's em que o tempo e capacidade de processamento necessário para as comunicações não prejudiquem o tempo necessário para processamento de operações de processo. Determinados processos em que os PLC's são requeridos por exemplo para trabalhar sinais de entradas de alta velocidade (ex: sinais *encoders*), ou gerir processos em malha fechada como controlo PI (Proporcional Integral) ou PID (Proporcional Integral Derivativo), a componente de processo não pode ter tempos de operação dependentes das comunicações.
- Compatibilização face a atualizações de produto quando os mesmos não obedecem a regulamentação normativa. Determinadas implementações em que as comunicações estão demasiado dependentes de características particulares de um PLC podem ser um entrave a evoluções, expansões ou substituições futuras de equipamento. Tanto quanto possível devem ser feitas implementações que obedecem a procedimentos normalizados.
- Vulnerabilidade das comunicações face a fenómenos de CEM (Compatibilidade Eletromagnética). Conforme será discutido à frente, situações que impeçam a correta observância das normas de CEM, podem ser um fator limitativo para implementação de arquiteturas comunicantes com performance aceitável.

Dada a dinâmica dos equipamentos comunicantes, existem muitos equipamentos que não são abrangidos por qualquer normalização, pelo que novas versões do produto não respeitam a compatibilidade com os seus antecessores, ou então pode serem de fabricantes diversos, não são passíveis de substituição direta sem adaptações na programação do PLC.

Outra questão que ainda é crítica é a vulnerabilidade das comunicações, e conseqüentemente os comportamentos em caso de falha de comunicação e a sua implicação no processo.

No exemplo de um acionamento, é preciso ter uma ideia clara do que fazer no caso de uma falha no envio de informação, para cada “*time-out*” ou mensagem com “*CHK Error*”. É preciso definir claramente como vai o sistema proceder, se deverá entrar em paragem, ou executar tentativas de recuperação da comunicação. Todo o sistema tem de prever a ocorrência de falhas de comunicação. Mesmo mitigando as causas das mesmas, existem fenómenos exteriores impossíveis de controlar.

Outra questão tem a ver com a segurança do processo, nomeadamente em máquinas que possuem legislação específica, que obrigam a que determinadas funções não possam ser feitas por comunicação, nomeadamente paragens de emergência. Esta situação existe em maquinaria industrial considerada perigosa para o utilizador, nomeadamente máquinas de corte, ou punção, ou semelhantes, manuseadas pelo operador. Neste tipo de aplicações as ordens de marcha e paragem obedecem a procedimentos rígidos, que impedem que sejam usados métodos de comando e controlo não padronizados.

A integração de equipamentos na rede de comunicação pode trazer benefícios, mas também pode pôr em causa o funcionamento adequado do sistema. Equipamentos confiáveis e com o mesmo protocolo de comunicação podem ser integrados diretamente na rede. Por exemplo, equipamentos como comunicação ModBus sob TCP/IP podem ser integrados sem preocupações extraordinárias, porém equipamentos com comunicação ModBus em redes RS485 de características menos confiáveis podem ser fontes de preocupação.

No caso de estudo da “InteSusal”, não foram identificados processos críticos em termos de segurança, aceitando-se que em caso de falha de comunicação um procedimento de “paragem em roda livre” e posterior notificação do utilizador sobre o erro é aceitável. Desta forma, e para beneficiar das vantagens da comunicação face ao comando e controlo por IO, foi decidido integrar os equipamentos com a capacidade de comunicação na rede, sem recurso a ligação por IO. A tabela seguinte corresponde ao levantamento das linhas de comunicação.

Localização e descrição do Site	Modbus RS485	Modbus Ethernet	ASCII RS232
<i>N1 ZONA SUL</i>			
PLC PRINCIPAL N1 QE GERAL COMANDO ZONA SUL	15	1	1
PLC OU SISTEMA DE E/S DISTRIBUÍDAS N1 QE PARCIAL BOMBAGEM NORA ZONA SUL	8	1	
<i>N1 ZONA NORTE</i>			
PLC PRINCIPAL N2 QE GERAL COMANDO ZONA NORTE	15	1	
SISTEMA DE E/S DISTRIBUÍDAS N2 ET01+ET02			
SISTEMA DE E/S DISTRIBUÍDAS N2 ET03+ET04			
PLC OU SISTEMA DE E/S DISTRIBUÍDAS N2 QE PARCIAL BOMBAGEM NORA ZONA NORTE	6	1	

Tabela 4-2 – Levantamento das necessidades de comunicação da instalação.

4.2.4 Definição das capacidades de processamento locais.

Quando um sistema possui I/O distribuído por uma extensa área física, ou por outra limitação qualquer, não é possível ou desejável conectar todo o I/O a um PLC central. Então, devemos considerar as várias possibilidades em termos de I/O distribuído. Porém, um cenário que não é desejável, mas é possível e tem sempre de ser considerado, é a falha dos sistemas de comunicação entre o PLC central e os dispositivos que recebem o I/O distribuído pelos locais remotos, normalmente identificados com *sites*.

Para decidir sobre o impacto de uma falha de comunicação e das soluções a adotar, é necessário conhecer o processo industrial associado. Com base nesse conhecimento temos que identificar e listar:

- Variáveis partilhadas entre os *sites* que são críticas para o processo geral.
- Processos críticos em cada *site* dependentes de outros sites ou do PLC central.
- Impactos locais e gerais da ausência de comunicações.
- Com base nestas variáveis temos de definir se é viável o sistema de entradas e saídas distribuídas para cada site e se existe necessidade de processamento específico, ou processos de recurso em caso de falha.
- Existem no mercado soluções técnicas para o caso em que as entradas e saídas distribuídas operam apenas como extensão do PLC central (Ex: OTB da *Schneider Electric*), e também sistemas que permitem executar operações lógicas em caso de falha. (Ex: STB da *Schneider Electric*).
- Outra solução pode ser a utilização de PLC's em cada *site* que partilhem as variáveis entre si e, ao mesmo tempo, possam executar rotinas de processos locais e operar rotinas específicas em caso de falha de comunicação com o PLC central.
- Face a esta última solução, a utilização de I/O distribuído normalmente possui um custo menor e um tempo de programação também menor, uma vez que do ponto de vista do programador, este I/O vai ser tratado da mesma forma como se estivesse no PLC central.

No exemplo do nosso caso de estudo foram encontradas em todos os *sites* funções críticas, e que devem continuar a funcionar na ausência de comunicações, sob condições específicas de recurso. A solução adotada foi a utilização de PLC's em todos os pontos, em vez de sistemas de entradas e saídas distribuídas.

4.2.5 Armazenamento de informação.

O sistema de automação pode requerer que seja armazenada informação localmente na memória dos PLC's, por várias razões. Na ausência de um sistema SCADA, ou sistema de aquisição de dados, controlo e supervisão, ou consola HMI, poderá ser o PLC a guardar alguns dados em memória, embora habitualmente esta tarefa fique guardada para os primeiros. A razão mais comum de precisarmos guardar dados de “*logging*” no PLC tem a ver com particularidades do processo, em que na ocorrência de um determinado evento é preciso guardar dados obtidos com uma elevada taxa de aquisição. Outra situação poderá ser a necessidade de criar determinado histórico independentemente da comunicação com o HMI, ou SCADA, estarem disponíveis.

Para determinar a quantidade de memória para dados necessária ao PLC, é preciso conhecer os dados que queremos guardar, o número de *words* de cada dado, a taxa de amostragem e o intervalo de tempo que queremos ter em memória. O resultado é o produto das variáveis anteriores. Por vezes são necessários dados “hora-datados”, e nesse caso é necessário reservar memória extra associada a cada registo para a data e hora respetiva.

Também precisamos saber se precisamos de uma memória volátil ou não volátil, em caso de falta de energia. Normalmente a gestão dos dados é implementada em FIFO circular.

No sistema do nosso caso de estudo, apenas são guardadas algumas *words* de configuração e constantes em posições de memória não volátil, mas sem representação significativa que obrigue a memórias extra.

4.2.6 Interligação da automação com os acionamentos.

Todo o comando, controlo e monitorização dos acionamentos dos motores se interliga com a automação.

Quando o acionamento do motor é baseado em variadores de velocidade, é possível efetuar totalmente a interligação do mesmo por comunicação, nos seguintes níveis:

- Monitorização – Ex. Leituras de energias, de horas de funcionamento, etc.
- Controlo – Definição de uma velocidade ou um set-point.
- Comando – Ordem de marcha e paragem, normal ou de emergência.

Os dados de monitorização acrescentam grandes vantagens, como por exemplo parâmetros de consumo, níveis de esforço incluindo estado térmico do variador e do próprio motor, e análise mais detalhada de defeitos. É normalmente uma prática corrente e vantajosa a interligação a este nível.

Relativamente ao comando e controlo, é necessário ponderar a escolha. Os fatores chave para a escolha são a segurança de pessoas, como variável de maior importância, seguindo-se a segurança do processo.

Em termos de legislação, existem normas específicas quando se trata da produção de máquinas, nomeadamente os dois *standards* a seguir listados. Estas normas ajudam a determinar os níveis de risco e performance desejáveis, estabelecendo a forma de comando e controlo dos equipamentos em função do nível de risco necessário para cada função da máquina.

- ISO 138491 – Aplicável à produção de maquinaria e incorporação de sistemas, incluindo o desenvolvimento de software.
- IEC 62061 – À semelhança do anterior, aplica-se também a maquinaria e possui outra abordagem para determinação de riscos.

Ao nível do impacto no processo é necessário ponderar fatores, como por exemplo:

Ao Nível do comando:

- Consequência de uma falha geral de comunicação.
- Consequência dos atrasos na comunicação de uma ordem a um equipamento “n”, em consequência de outros equipamentos, (n1, n2, ...) se encontrarem fora de serviço (ex: manutenção).

Ao Nível do controlo:

- Consequência da impossibilidade de comunicar uma variável de controlo (ex: *setpoint*)
- Consequência de comunicar uma variável de controlo com atraso.

Sabemos à partida que uma solução por comunicação tem um custo menor, pois implica menos portas de entradas e saídas (digitais e/ou analógicas) e menos cablagem. Assim, a questão do custo é normalmente um benefício a analisar face aos riscos descritos anteriormente.

No projeto do caso de estudo não se identificaram riscos para os utilizadores, uma vez que os acionamentos usados se referem a bombas e ventiladores. Em todo o caso, basta assegurar uma paragem de emergência geral em “roda livre”.

Ao nível do controlo do processo, não se identificou nenhum controlo crítico em termos de processo. Apenas é necessário assegurar que os acionamentos funcionam em intervalos (definidos nos mesmos) enquadrados nos parâmetros de segurança do processo.

Optou-se assim por implementar o controlo, comando e monitorização dos acionamentos por comunicação. Desta forma simplificou-se a solução, ao reduzir por cada acionamento, as seguintes entradas e saídas:

- Uma saída Digital (marcha / paragem)
- Uma entrada Digital (Erro/Avaria)
- Uma saída analógica – Referencia de velocidade.

4.2.7 Implementação da Rede.

Numa solução de automação industrial podem coabitar vários tipos de redes, ou protocolos. Normalmente a nomenclatura “protocolo” define a rede quer ao nível físico (cabos, conetores, topologia, número de equipamentos, distâncias e velocidades), quer ao nível da forma de transmissão de dados, controlo de erros e mecanismos associados.

Cada fabricante de equipamentos, orientou as suas soluções e o seu desenvolvimento em torno de um ou poucos protocolos. Estas opções são muitas vezes tomadas por questões mais comerciais do que técnicas. Desta forma, com a seleção em função do fabricante ficam logo apontados os *standards* disponíveis. No entanto, e de uma forma genérica, os variados protocolos e fabricantes disponibilizam as seguintes soluções, com os seguintes pontos fortes e fracos:

Tipo	Velocidade Típica	Distância	CEM	Custo
Comunicação Série a 2 ou 4 fios	Baixa (Tip: 19220 bps)	Alta	Média/Alta	Baixo
Ethernet 10/100T	Médio (Tip: 100 kbs)	100m	Média	Médio/Alto
Fibra Ótica.	1GBps	2km	Alta	Alto
Rádio	Baixa	1km	Baixa	Alto

Tabela 4-3 – Tabela de tipificação dos meios de comunicação.

Outra ponderação necessária é a escolha entre protocolos abertos e proprietários. Protocolos proprietários são criados e geridos por uma determinada empresa ou organização fechada e destinados à comunicação entre dispositivos dessa mesma empresa ou organização fechada. Os protocolos abertos, independentes da sua origem têm as suas regras e convenções difundidas no domínio público. Normalmente estas convenções e regras são geridas por uma organização independente ou divulgadas sobre a forma de norma. Os protocolos abertos geralmente permitem que qualquer fabricante possa fabricar *hardware* e *software* para operar de acordo com o protocolo.

De forma genérica existem vantagens e desvantagens para protocolos abertos e fechados. Os fabricantes que recorrem a protocolos fechados alegam normalmente a possibilidade de obter uma melhor performance e controlo sobre a confiabilidade da rede. Por outro lado, os protocolos abertos oferecem uma maior flexibilidade, tanto em termos de diversidade de equipamento, como em termos de controlo por parte do programador, bem como uma maior garantia de renovação e expansão futura sem custos de exploração excessivos.

Com base nos parâmetros genéricos, no caso de estudo, para cada caso, foram tomadas em consideração as seguintes variáveis

- Velocidade da comunicação necessária.
- Distância máxima necessária.
- Imunidade eletromagnética requerida.
- Custo, incluindo equipamento passivo, ativo e tempo de implementação.
- Comunicações nativas dos equipamentos sem recorrer a dispositivos extras ou *gateways* (dispositivo de conversão de protocolo).
- Impacto do protocolo sobre o tempo de desenvolvimento da aplicação.

Considerando as recomendações de fabrico dos equipamentos, foi selecionada uma plataforma assente em ModBus.

No projeto de estudo foram selecionados quatro meios físicos:

- RS485 para interligar os PLC's aos equipamentos dentro de cada site, nomeadamente os acionamentos (variadores de velocidade) e aparelhos de medida.
- Ethernet sob UTP – Interligação entre os PLC's em cada uma das zonas (norte e sul).
- Ethernet sob fibra ótica monomodo – Interligação entre a zona norte e a zona sul.
- Sistema Rádio de 2,5GHz / 200kbps para operação de um I/O correspondente a um acionamento motor de uma captação de água remota.

A solução adotada resume-se na tabela seguinte:

	Velocidade	Distância	Compatibilidade	Custo
ModBus RTU-485	19200 bps	1,2km	Média	Baixo
ModBus-Ethernet 10/100T	100Mbps	100m	Média	Médio
ModBus Ethernet –F.O. Monomodo.	1GBps	2km	Alta	Alto
Rádio DX80N2X6S	200kbps	1km	Baixa	Alto

Tabela 4-4 – Tabela de tipificação dos meios de comunicação usados.

A seleção da rede ModBus RTU sobre 485, dentro dos quadros elétricos e próxima dos equipamentos de potência, permite uma instalação fácil e de baixo custo, velocidade suficiente e imunidade aceitável para o ambiente em causa.

A rede Ethernet (neste caso Ethernet sobre TCP/IP) assegura a transferência de maiores volumes de dados onde os mesmos são necessários. No caso em que a distância é inferior a 100m, a mesma foi implementada sobre cabo UTP. Para vencer a distância de cerca de 200m entre os *sites*, a mesma foi implementada sobre fibra ótica.

O sistema rádio assegura a operação de um acionamento remoto e resolve a impossibilidade de a ligação ser efetuada com cabo.

4.2.8 A escolha de CPU's

A alteração do paradigma das arquiteturas com IO's cada vez mais distribuídos e a integração de aparelhos comunicantes aumenta a exigência sobre a performance da gestão das comunicações.

Considerando uma rede ModBus RTU sobre 485, cada falha de comunicação vai gerar um *time-out* que será de, pelo menos, 1 segundo, pelas recomendações normativas[18]. Se a gestão de rede não for independente do processamento das instruções, vão ser introduzidos atrasos na automação. Se considerarmos, por exemplo, a gestão de um processo rápido com controlo PID, poderá um *time-out* provocar uma falha crítica no sistema.

A evolução da tecnologia tornou comum à data atual a disponibilidade de CPU's *Dual Core*, em que um dos CPU's suporta as comunicações e o outro o processo. É determinante para uma boa performance de uma solução que integre comunicações nos processos de controlo, a utilização de CPU's *Dual Core*.

Assim cada PLC teria de dar resposta aos seguintes pontos:

- Suportar o número de entradas e saídas da tabela e uma reserva extra para futuras expansões. Os documentos
- Possuir capacidade de comunicação em Modbus sob 485 ao nível do respetivo site, e comunicação ModBus sob TCP/IP para interligação aos restantes sites e ao SCADA.
- Capacidade de execução de operações matemáticas. (Polinómios e operações trigonométricas)
- Capacidade de guardar cerca de 50 constantes do tipo “doubleWord” em memória não volátil.
- Custo efetivo equilibrado com as funcionalidades.
- Capacidade de programação em várias linguagens, nomeadamente “codSis” para permitir a integração de rotinas desenvolvidas por elementos externos à equipa de projeto, nomeadamente especialista em biologia.

A solução adotada no caso de estudo foi a oferta M241, que assenta numa arquitetura de duplo processador, sendo um deles destinados ao processo e o outro às comunicações. Esta evolução tecnológica é relevante neste tipo de controladores, uma vez que permite uma operação correta do processo, sem que eventuais “*timeouts*” das redes possam interferir, uma vez que são geridos por outro CPU.

As principais características destes controladores são:

- Memória: 64 MB de RAM + 8MB para memória de programa.
- *Bakup* de Aplicação: 128 MB de memória para *bakup* de programas.
- Capacidade de execução do CPU: 0,7 ms por instrução e 0.3 ms por interrupção.

- Expansão de Memória: Cartão SD até 32 GB.
- Comunicação incorporada no CPU: 1 Porta Ethernet – ModbusTCP/IP. Uma porta RS485 – ModBus e uma porta RS232/RS485.

Ao nível das entradas e saídas, cada PLC pode suportar indiferenciadamente até um máximo de 14 cartas de expansão. Para receber as entradas e saídas em locais que inicialmente estavam designados com I/O distribuído, foram adotados PLC da mesma família, mas mais simples do tipo M221. Os M221 são PLC's com CPU *single core*, que permitem expandir até 7 cartas extra e incorporam de base Porta Ethernet – ModbusTCP/IP, uma porta RS485 – ModBus e uma porta RS232/RS485.

4.2.9 Conceção da Solução

Finalizada a análise dos fatores mais determinantes na definição da arquitetura, descritos nas secções anteriores, procede-se à seleção do *hardware*.

No caso concreto projeto em estudo, foram encontradas as soluções da tabela seguinte, que permite ao sistema dar resposta ao número de entradas e saídas desejadas, ficando disponível uma significativa capacidade expansão.

Referência	Descrição	Qnt	ED	SD	EA	SA
N1 ZONA SUL						
PLC PRINCIPAL N1 QE GERAL COMANDO ZONA SUL						
TM241CE40T	24 entradas (inc. 8 highspped)	1	24	16		
TM3AI8	8 entradas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	3			24	
TM3AQ2	2 saídas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1				2
TM3DI16	16 entradas digitais 24 Vdc	2	32			
TM3DQ16R	16 saídas digitais a relé	3		3		
TM3XREC1	Módulo recetor de barramento (RJ 45)	1				
TM3XTRA1	Módulo transmissor de barramento (RJ 45)	1				
VDIP184546050	Cabo blindado para expansão de barramento TM3 categoria 5E (5m)	1				
TOTAIS E/S			56	19	24	2
Slots		9				
Disponiveis		5				
PLC - QPBN1 – Q PARCIAL BOMBAGEM NORA ZONA SUL						

Referência	Descrição	Qnt	ED	SD	EA	SA
TM221CE16T	9 entradas (inc. 4 highspeed)	1	9	7		
TM3AI4	4 entradas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1			4	
TM3AQ4	4 saídas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1				4
TOTAIS E/S			9	7	4	4
Slots		3				
Disponíveis		11				
N2 ZONA NORTE						
PLC N2 QE GERAL COMANDO ZONA NORTE						
TM241CE24T	14 entradas (inc. 8 highspeed)	1	14	7		
TM3AI4	4 entradas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1			4	
TM3AQ2	2 saídas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1				2
TM3DQ8R	8 saídas digitais a relé	1		8		
TOTAIS E/S			14	15	4	2
Slots		3				
Disponíveis		11				
PLC N2 ET01+ET02						
TM221CE40T	24 entradas (inc. 4 highspeed)	1	24	16		
TM3AI4	4 entradas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1			4	
TM3AI8	8 entradas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	2			16	
TM3AQ2	2 saídas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1				2
TM3DI16	16 entradas digitais 24 Vdc	1	16			
TM3DQ16R	16 saídas digitais a relé	1		16		
TM3DQ8R	8 saídas digitais a relé	1		8		
TOTAIS E/S			16	24	0	2
Slots		6				
Disponíveis		8				
PLC N2 ET03+ET04						
TM221CE40T	24 Entradas (inc. 4 highspeed)	1	24	16		
TM3AI8	8 Entradas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	2			16	
TM3AQ2	2 Saídas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1				2
TM3DI16	16 Entradas digitais 24 Vdc	1	16			
TM3DQ16R	16 Saídas digitais a relé	1		16		
TOTAIS E/S			40	32	16	2
Slots		5				
Disponíveis		9				
PLC N2 QPBZN Q PARCIAL BOMBAGEM NORA ZONA NORTE						
TM221CE16T	9 Entradas (inc. 4 highspeed)	1	9	12		
TM3AI4	4 Entradas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1			4	

Referência	Descrição	Qnt	ED	SD	EA	SA
TM3AQ2	2 Saídas analógicas (+ 10V, 010V, 020mA, 420mA), 12 bits	1				2
TOTAIS E/S			9	12	4	2
Slots		2				
Disponíveis		12				

Tabela 4-5 – Configuração de Hardware do projeto.

Esta arquitetura de automação, considerada de média dimensão, irá gerir, em termos de sinais provenientes do exterior, as seguintes quantidades:

- Entradas digitais: 144.
- Saídas Digitais: 109
- Entradas Analógicas standard (4-20mA): 52.
- Saídas Analógicas standard (4-20mA): 14.

A figura seguinte representa a arquitetura em termos de organização física.

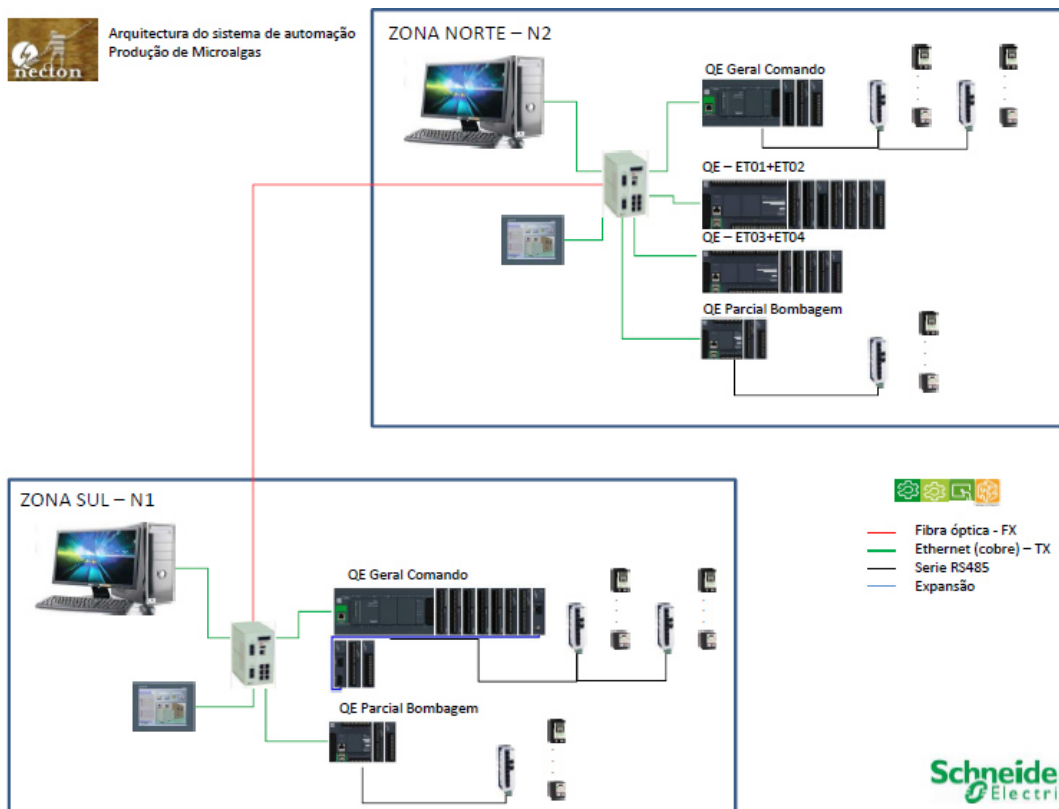


Figura 4-10 Arquitetura do projeto NETON

4.3 Implementação e análise de resultados

A presente secção descreve a implementação e análise de resultados para a aplicação da metodologia descrita no caso de estudo.

Seguindo a metodologia descrita na secção 4.2, chegou-se à definição de *hardware* listado na Tabela 4-5. As figuras seguintes (Figure 4-11, Figure 4-12) detalham a forma como se prevê a interligação física dos equipamentos e elementos na rede.

Os pontos marcados como “2” e “3” nas figuras (Figure 4-11, Figure 4-12), correspondem às redes ModBus sob RS485. Estas redes estão imersas no equipamento suscetível de maior perturbação eletromagnética, nomeadamente nos acionamentos motores por variadores de velocidade.

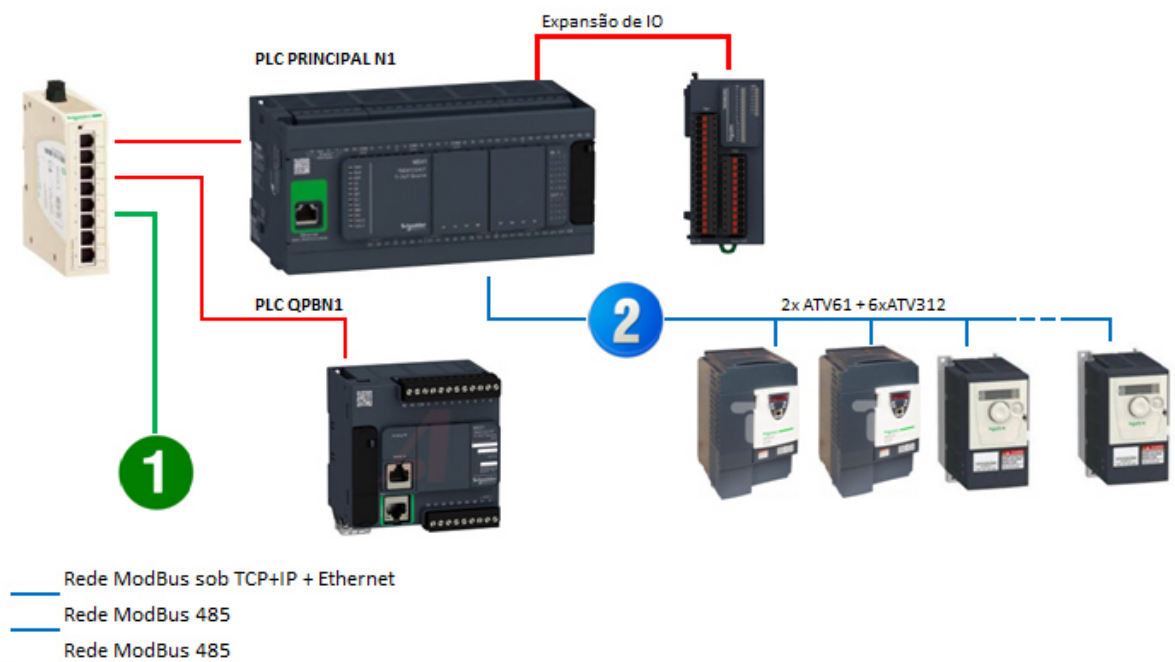


Figure 4-11 – Rede da Zona N1

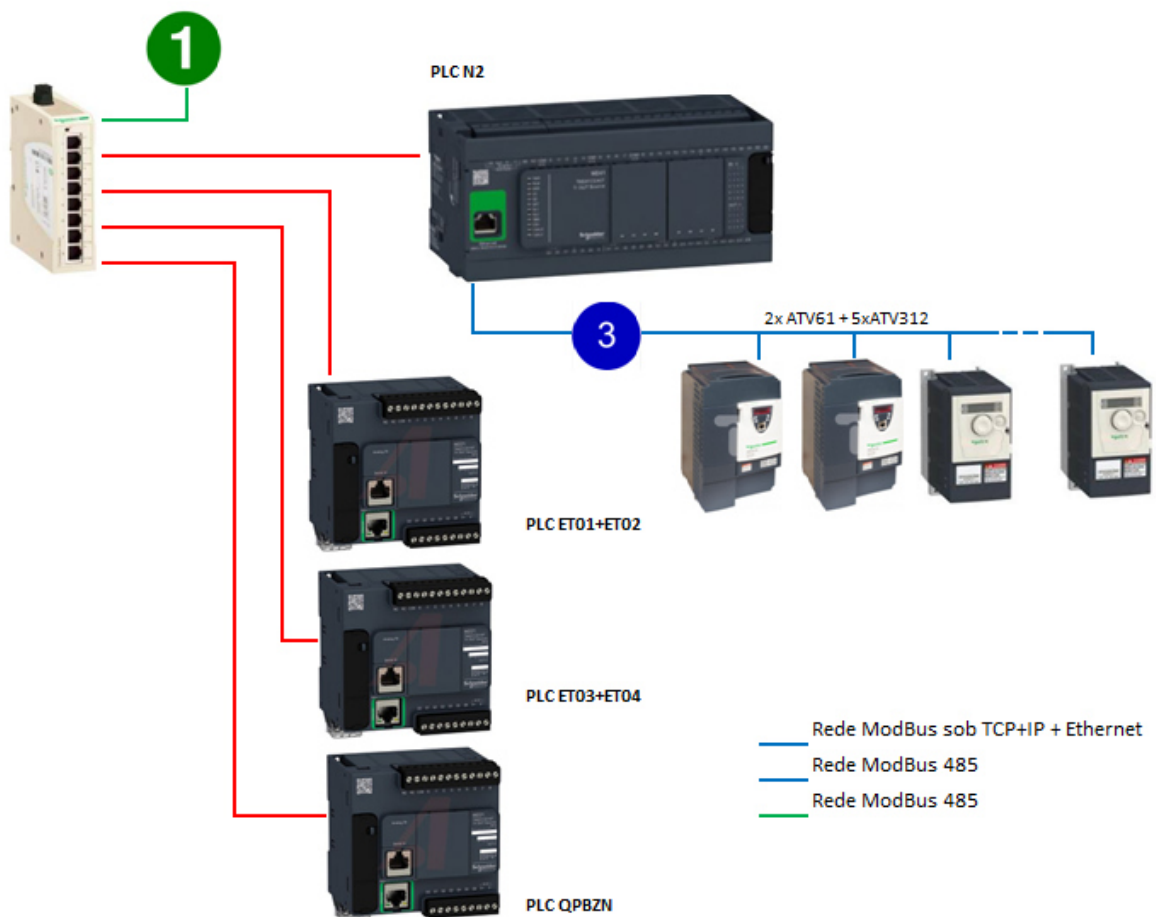


Figure 4-12 – Rede da Zona N2

4.3.1 Ligação ao equipamento de campo

O equipamento de campo (designação dada aos componentes que se encontram fora dos quadros elétricos), está sujeito a fatores que estão geralmente submetidos a um controle efetivo. A circulação dos condutores de interligação de vários tipos por caminhos de cabos ou condutas partilhadas, sujeitas a alterações ou até incidentes mecânicos, obriga a não descurar a implementação de medidas específicas para mitigar os fenómenos causadores de interferência.

Outro fator de perturbação potencial que provêm do exterior tem origem em descargas atmosféricas indiretas sobre a instalação.

A instalação da InteSusal possui uma elevada vulnerabilidade a fenómenos relacionados com descargas atmosféricas indiretas, pelo fato de possuir uma larga estrutura exposta, em que a água salgada funciona como condutor.

Ao nível das entradas analógicas, foram colocados isoladores galvânicos com vista a mitigar os efeitos descritos na secção (3.3.2.2), que podemos ver na Figura 4-10, Legenda “B”.

As entradas digitais exteriores também são protegidas ao nível das sobre intensidades, através de fusíveis rápidos adequados (Figura 4-10, Legenda “E”)

No entanto, esta solução apresenta vulnerabilidades conhecidas ao nível de CEM, podendo ser afetadas por fonte predominantemente do tipo indutiva, capacitiva ou até mesmo radiada (Secções (3.3.2.3), (3.3.2.4), (3.3.2.5)).

Desta forma foi necessário acautelar ao nível da cablagem as medidas descritas na secção (3.6). As saídas digitais que atuam equipamentos no exterior e que não requerem circuito de potência, ficam ligadas por relés eletromecânicos (Figura 4-10, Legendas “C” e “D”), protegendo o PLC, contra eventuais defeitos elétricos, e criando um isolamento elétrico eliminando problemas de CEM.

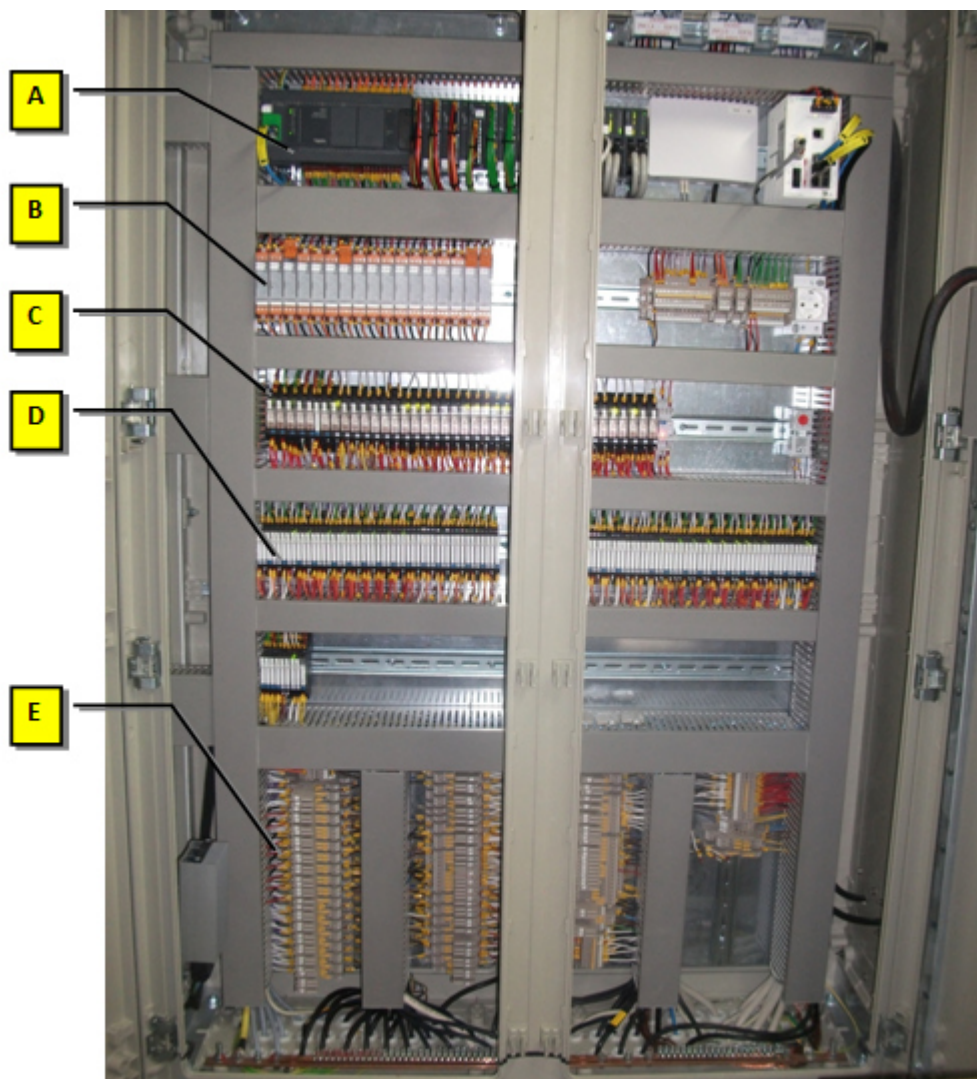


Figure 4-13– Fotografia do painel de automação do Q.E.xx.11

Na Figura 4-14, podemos ver a ligação do cabo de potência de saída do variador de velocidade ao respetivo motor. Este cabo é da categoria 4, de acordo com a Tabela 3-3. O cabo usado é blindado e adequado ao tipo de instalação. A ligação à massa é satisfatória, mas não é a ideal, que é recomendada na Figura 3-23



Figura 4-14 – Fotografia da ligação de potência de um Variador de Velocidade ATV312

Na interligação de massas e terras foram seguidas as recomendações aplicáveis.

Para evitar os fatores relacionados com acoplamento galvânico (3.3.2.2) e perturbações por radiação (3.3.2.5), seguiram-se as recomendações relacionadas com a ligação das massas descritas na secção (3.4).

Foi também tomada em consideração a formação de anéis de massa, descritos em (Acoplamento por radiação.3.3.2.5),

A Figura 4-15 demonstra a importância da ligação das massas que se efetua a um ponto comum do barramento com trança de cobre adequada ao efeito, de forma a não existirem impedâncias diferentes entre os vários equipamentos.

Observou-se ainda o agrupamento entre o cabo de massa e o respetivo cabo de sinal, minimizando a formação de “anéis de massa”.

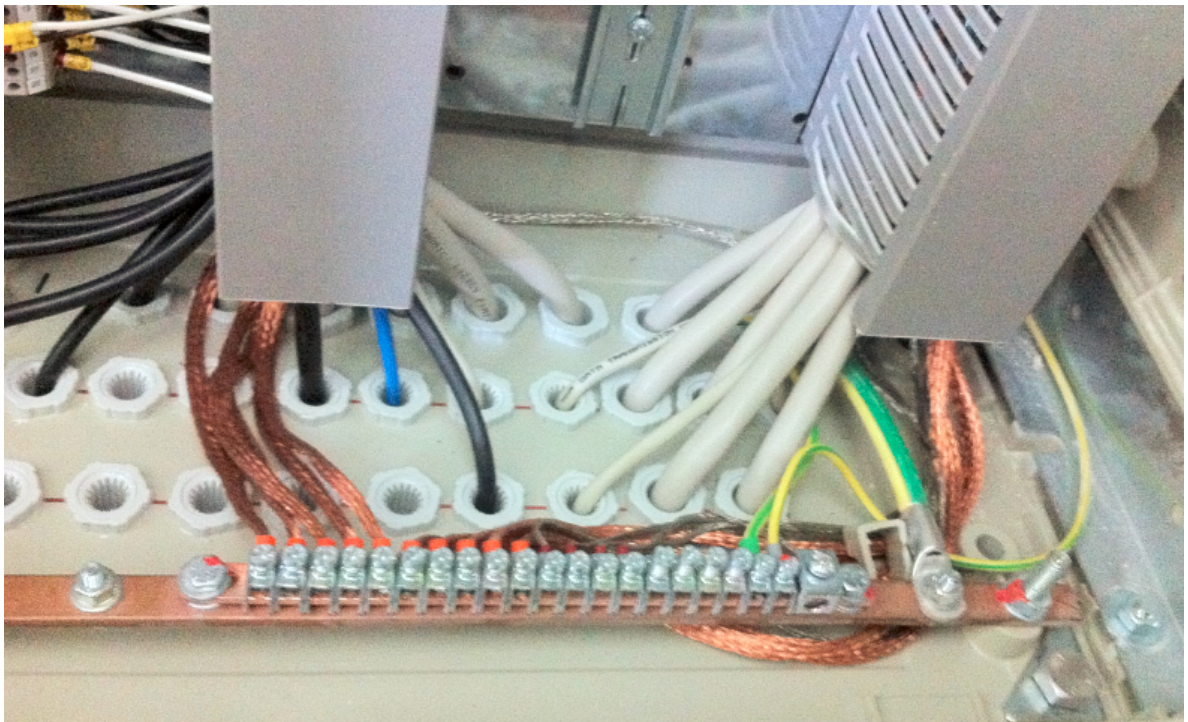


Figura 4-15 – Ligação de massas

4.3.2 Software

Toda a programação deste projeto foi desenvolvida no *software* “SoMachine Logic Builder 4.1 da Schneider Electric®”[19], que é parte integrante da plataforma SoMachine. A plataforma SoMachine gere várias ferramentas que permitem programar e configurar múltiplos equipamentos, desde os CPUs M221, M241 e M251, HMI da família XBT, STO e STU, bem como servomotores da gama Lexium.

Uma das vantagens de uma plataforma comum é a criação de um mapa de variáveis consistente, que é partilhada pelos vários elementos da rede, reduzindo eventuais erros de endereçamento. Esta plataforma permite desenvolver programação em vários formatos que podem coabitar no mesmo projeto, desde linguagens padrão como LADER ou GRAFCET, LIST, ou outro diagrama de blocos próprio da ferramenta, até linguagem estruturada própria do *software*, ou no standart CodSIS®. A aplicação da “*InteSusal*” foi desenvolvida em LADER

4.3.3 Implementação de Medidas de performance do sistema

Após a implementação de um sistema, é altamente recomendável implementar mecanismos que permitam medir a performance do sistema logo numa fase inicial de testes. Esta boa prática permitirá implementar medidas corretivas numa fase em que a complexidade do controlo de processo ainda é baixa, sendo mais fácil despistar eventuais causas de funcionamento menos adequadas. Preferencialmente até poderá ser considerado um arranque e teste do sistema por fases, dividindo o mesmo em subzonas.

O sistema da “InteSusal” seguiu a seguinte metodologia:

Passo	Ação
1	Teste Básico de Comunicações de todos os PLCs da rede
2	Implementação de conjunto de variáveis de controlo de performance. (Ver Tabela 4-7)
3	Teste e ajuste do de funcionamento de todo o I/O
4	Implementação e teste das comunicações com o SCADA
5	Implementação e teste das rotinas de controlo dos Variadores de Velocidade
6	Definição da estrutura geral do programa, definição das “tasks” e organização da memória
7	Início do processo dinâmico de implementação do controlo do processo.

Tabela 4-6 – Metodologia de Implementação do processo

A rede de comunicações implementada é representada na Figura 4-16 e correspondente à captura de tela do SoMachine onde se representam 8 acionamentos motores por variadores de frequência e uma central de media de grandezas elétricas, interligados na linha ModBus sobre RS485.



Figura 4-16 – Captura de tela do SoMachine, rede de comunicação.

Logo na segunda etapa, implementou-se um controlo de performance cobrindo essencialmente dois fatores: as comunicações e a operação do *hardware*. Ambos os parâmetros são suscetíveis de influência pela CEM.

Para efetuar este controlo usamos as funções embebidas no CPUM241 para o efeito, que de uma forma geral modificam *words* (de leitura para o utilizador).

Ao nível das falhas de *hardware* são disponibilizadas duas *words* de sistema (*i_lwSystemFault_1* e *i_lwSystemFault_2*)[20], que no final de cada ciclo reportam se ocorreu um erro em alguma interface, colocando a zero o bit correspondente ao erro. A Tabela 4-7 descreve o significado dos bits da Word *i_lwSystemFault_1*.

A Figura 4-18, corresponde a uma captura de imagem após um período de sessenta dias (deste 10.03.2016 até 10.05.2016) em funcionamento pleno do sistema, onde se mostram os contadores de erros físicos nos dispositivos.

Expression	Type	Value
teste_1	LWORD	18446744073709551613
teste_2	LWORD	0
expert_io_error	INT	0
tm3_error	INT	2929
ethernet_if1_error	INT	0
ethernet_if2_error	INT	0
serial_1_error	INT	0
serial_2_error	INT	0
can_1_error	INT	0
cartige_1_error	INT	0
cartige_2_error	INT	0
tm4_error	INT	0

Figura 4-18 – Lista de Variáveis de sistema em 10.05.2016

Ao nível das tramas de bits que podem chegar com erro de *checksum*, são disponibilizadas por cada interface de comunicação contadores onde podemos comparar os dados transmitidos com sucesso e as tramas com erro. A Tabela 4-8 mostra a lista de contadores que é replicada por cada porta física do sistema.

Var Name	Type	Comment
Serial Line		
i_udiFramesTransmittedOK	UDINT	Number of frames successfully transmitted.
i_udiFramesReceivedOK	UDINT	Number of frames received without any errors detected.
i_udiRX_MessagesError	UDINT	Number of frames received with errors detected (checksum, parity).
Modbus Specific		
i_uiSlaveExceptionCount	UINT	Number of Modbus exception responses returned by the logic controller.
i_udiSlaveMsgCount	UINT	Number of messages received from the Master and addressed to the logic controller.
i_uiSlaveNoRespCount	UINT	Number of Modbus broadcast requests received by the logic controller.
i_uiSlaveNakCount	UINT	Not used
i_uiSlaveBusyCount	UINT	Not used
i_uiCharOverrunCount	UINT	Number of charater overruns.

Tabela 4-8 - Descrição das *words* de sistema relacionadas com a comunicação Série.

Estas variáveis voltam a zero a cada “restart” do sistema. Está também disponível uma função para efetuar o “reset” dos contadores sem afetar as comunicações.

Watch 1		
Expression	Type	Value
A11_PLC_QGN1.Application.NIVEL_PROT_FALTA_AGUA_EQ01_AMZ_BM01_DP02	INT	250
A11_PLC_QGN1.Application.ControlWord_CMD_A21	WORD	271
A11_PLC_QGN1.Application.NIVEL_PROT_FALTA_AGUA_EQ01_COL_DP01	INT	100
A11_PLC_QGN1.Application.NIVEL_PROT_FALTA_AGUA_EQ01_COL_DP02	INT	100
A11_PLC_QGN1.Application.NIVEL_PROT_FALTA_AGUA_EQ01_COL_DP03	INT	100
A11_PLC_QGN1.Application.NIVEL_DP01_ARM_AG_SAL_N1	INT	2227
A11_PLC_QGN1.Application.NIVEL_DP01_EQ01_AMZ_DP01_SCADA	INT	2228
A11_PLC_QGN1.Application.PLC_SYSTEM.CTRL_DateTime.wYear	UINT	2016
A11_PLC_QGN1.Application.GVL_N1.CMD_ABRT_EV_LAV_DP03	BOOL	FALSE
A11_PLC_QGN1.Application.GVL_N1.CMD_ABRT_EV_LAV_DP04	BOOL	FALSE
A11_PLC_QGN1.Application.EQ00_NOR_VL10	BOOL	TRUE
A11_PLC_QGN1.Application.EQ00_NOR_VL13	BOOL	TRUE
A11_PLC_QGN1.Application.Serial_R[0].i_udfFramesReceivedOK	UDINT	31517215
A11_PLC_QGN1.Application.Serial_R[0].i_udfFramesTransmittedOK	UDINT	31968851
A11_PLC_QGN1.Application.Serial_R[0].i_udfRX_MessagesError	UDINT	456965
A11_PLC_QGN1.Application.ETH_R.i_udfFramedReceivedOK	UDINT	174272805
A11_PLC_QGN1.Application.ETH_R.i_udfFramesTransmittedOK	UDINT	160407745
A11_PLC_QGN1.Application.ETH_R.i_udfReceiveBufferErrors	UDINT	0
A11_PLC_QGN1.Application.ETH_R.i_udfTransmitBufferErrors	UDINT	0

Figura 4-19 - Lista de Variáveis de comunicação em 10.05.2016

4.3.4 Análise dos resultados obtidos

Na Figura 4-18 podemos ver a ocorrência de um erro nas cartas TM3, correspondente a 2929 erros em 60 dias, o que equivale a cerca de dois erros por hora. Esta situação levou a uma análise mais detalhada e identificou-se a origem do problema numa carta de 16 entradas digitais. Substituindo a carta de entradas para despistar o problema, verificou-se que não alterava o nível de erros ocorridos.

Dado que o erro ocorre apenas num ciclo de programa e que não é relevante para o funcionamento da aplicação, não foram tomadas medidas de correção. No entanto, tudo aponta para um problema de compatibilidade eletromagnética.

Análise de erros no canal ModBus RTU – RS485.

Relativamente às comunicações ModBus RTU sob RS485 conforme captura de tela, no referente ao mesmo período ilustrada na Figura 4-19, constatamos a presença de várias “frames” perdidas pelo valor da variável “i_udfRX_MessagesError”.

O número total de *frames* corresponde a um intervalo de 60 dias, pelo que constatamos a receção de 370 *frames* com dados corretos por minuto e cerca de 5 *frames* com algum tipo de erro.

	Total 60 dias	Media diária	Media minuto
Tramas Enviadas	31517215	525287	365
Tramas Recebidas	31968851	532814	370
Diferença entre Env e recebido	451636	7527	5
Erros recebidos pelo PLC	456965	7616	5
% Erros	1,43%	1,43%	

Table 4-9 – Estatísticas de comunicação.

Podemos pela fórmula (9) constatar que a taxa de erros de receção é cerca de 1,43%.

$$\text{RxError} = \frac{i_{\text{udiRXMessagesError}}}{i_{\text{udiFramesReceivedOK}}} * 100 \quad (10)$$

Por análise visual do incremento dos contadores, verificámos que os erros se distribuem de forma relativamente uniforme no tempo, estando, portanto, associados à operação normal do sistema.

Análise de erros no canal Ethernet

O canal Ethernet apenas nos indica a existência de erros entre os dados provenientes do *switch* e a porta *ethernet* do PLC. Este contador não indica erros, no entanto não é uma garantia da ausência de erros nos restantes ramos da rede.

O presente estudo focou-se bastante sobre a comunicação assente sobre RS485, devido ao baixo custo e facilidade de implementação. Futuras alterações tecnológicas certamente vão alterar este paradigma.

4.4 Conclusão sobre a performance do sistema

O sistema desenvolvido neste caso de estudo é perfeitamente estável e funciona num nível de serviço e de capacidade de I/O e de memória abaixo do máximo, numa percentagem segura e superior a 30%.

As comunicações funcionam estáveis e, ao nível do processo, não se percebem quaisquer falhas de comunicação. No entanto, sabemos pela análise das variáveis específicas para o efeito que estão a ocorrer perturbações regulares nas comunicações.

É importante ter presente que exististe um balanço entre o investimento no sistema e a sua performance, e que nenhum sistema está isento de falhas de comunicação.

As resiliências do sistema são conseguidas balanceando três técnicas principais de mitigação de falhas que são:

- Uma rigorosa implementação de acordo com as regras de CEM
- Utilização de PLC's que consigam gerir de forma adequada a comunicação sem perturbação para o processo, preferencialmente “*dual-core*”, com um dos CPU's dedicados á comunicação.
- A construção de rotinas de programação que levem em conta procedimentos de recurso em caso de falha de comunicação.

Uma implementação inadequada em termos de CEM, leva a taxas de erros que podem ser impossíveis de mitigar com as medidas disponíveis, pelo que é um fator que nunca pode ser descurado.

5 Conclusão

O relatório de atividade profissional visa descrever o trabalho como profissional de engenharia, desde novembro de 1999 até ao presente, mas focando maioritariamente as atividades desenvolvidas desde 2005, ao serviço da Schneider Electric Portugal.

O presente documento teve o objetivo de abordar o projeto de soluções e de arquiteturas de automação industrial, tendo especial enfoco na confiabilidade das arquiteturas e soluções de automação industrial, realçando os aspetos da comunicação de dados e da compatibilidade eletromagnética, sempre sobre uma perspetiva de sistematizar e compilar soluções industriais aplicadas à automação e obtidas por vários anos de experiência prática adquirida.

Encontramos na norma IEC61131 matéria orientadora referente à automação industrial, em termos de todos os componentes de hardware e software, comunicações e inclusive a segurança. Da mesma forma encontramos nas organizações mais reconhecidas nesta temática, nomeadamente a OPC Foundation [7] e PLC Open [8], orientações em termos da metodologia e organização da construção de programação e troca de dados entre dispositivos.

No entanto, quando passamos da abordagem dos componentes individuais para a solução completa da automação ao nível da arquitetura, deteta-se a falta de metodologias objetivas. Da mesma forma, encontra-se a necessidade de metodologias que unifiquem o projeto da solução sob a respetiva da implementação e controlo da performance.

5.1 Análise de resultados

A forma como é projetada e estruturada uma solução de automação industrial, desde a sua origem determinará para sempre fatores decisivos ao seu sucesso, como são a performance, a aptidão para sofrer modernizações e para ser flexível e escalável, bem como outro fator crítico que é confiabilidade. Dessa forma, uma metodologia cuidada de elaboração do projeto permite avaliar e ponderar as várias variáveis inerentes ao

projeto, de forma a conseguir a estrutura mais equilibrada que melhor responda aos desígnios anteriormente referidos.

Para dar resposta aos requisitos de flexibilidade, escalabilidade e capacidade evolutiva, cada vez são mais adotadas soluções de arquiteturas distribuídas, em que a interação entre os seus elementos se efetua por comunicação. Porém, a conceção de arquiteturas largamente distribuídas pode apresentar vulnerabilidades em termos de comunicações, comprometendo a confiabilidade das mesmas e consequentemente a sua performance geral.

Identifica-se como principal fator capaz de comprometer a confiabilidade das comunicações e, consequentemente, da própria solução, a compatibilidade eletromagnética (CEM) entre equipamentos industriais e linhas de comunicação ou de sinais. Uma vez que a natureza interferente de determinados equipamentos é característica dos mesmos, é necessário identificar as técnicas de mitigação das interferências. Dado que os equipamentos são produzidos testados de acordo com as normativas que lhe são aplicáveis, a mitigação dos fenómenos de CEM pode ser feita ao nível das técnicas de instalação.

Para compreender melhor o fenómeno de CEM efetuou-se um estudo com base em literatura específica e experiência em projetos, sobre os fatores mais relevantes na transmissão das perturbações, para que seja possível aplicar técnicas de mitigação mais eficientes. Com base nestes dados, construiu-se uma metodologia de projeto de soluções de automação industrial especialmente vocacionada para obter soluções comunicantes, identificando os fatores chave ao cumprimento dos objetivos apontados de início (performance, aptidão para sofrer modernizações, flexibilidade, escalabilidade e confiabilidade) e requisitos de controlo da execução e de medidas de performance ao nível da confiabilidade, nomeadamente em termos de robustez das comunicações face á CEM.

No entanto, é relevante salientar que, independentemente do rigor na observação das técnicas de instalação adequadas à mitigação das interferências em termos de CEM nas comunicações, as mesmas vão sempre existir, mesmo que com baixa taxa de ocorrência.

Assim, é muito importante que em termos de software sejam adotadas, sempre, rotinas de tratamento adequado dos erros, principalmente de forma a não comprometer a segurança de pessoas e bens.

No que diz respeito à aplicação da metodologia desenvolvida ao caso de estudo apresentado, conclui-se que apesar da aplicação rigorosa das técnicas de mitigação de erros, os mesmos ainda surgem embora com taxas de ocorrência baixas, que neste caso concreto não comprometem a performance do sistema.

Em suma, os vários fabricantes já produzem equipamentos e software enquadrados nas normas existentes, garantindo que, individualmente, tudo funciona bem. Para além disso, existem normas que auxiliam no projeto, que são utilizadas pelos profissionais nesta área. Mas, as normas não mostram as possíveis falhas do projeto, especialmente se estas surgem da implementação no terreno. Assim, os profissionais de automação têm de lidar com a existência de falhas e averiguar se os erros existentes têm impacto na solução implementada. Esse impacto não é referido nas normas (nem pode ser) e só nas soluções finais, depois de implementadas no terreno, pode haver esse cuidado. Por vezes os problemas surgem pela comunicação entre equipamentos (ou dos erros existentes nos canais de comunicação), devido à implementação feita. É preciso averiguar qual o impacto das taxas de erro na solução final e no propósito que se quer para os equipamentos e para a solução.

5.2 Trabalho futuro

Em qualquer trabalho se consegue identificar tarefas seguintes, ou ainda algumas tarefas que ficaram por fazer. Este não é exceção.

Ficou por estudar um fenómeno interferente relevante na confiabilidade das soluções, que tem a ver com a transmissão de perturbações através dos circuitos de alimentação dos equipamentos, incluindo o impacto da forma como são feitas as ligações de terra ao nível das fontes. Recomenda-se assim para trabalho futuro o estudo da influência de sinais interferentes que se propagam através das linhas de alimentação e redes de

ligação á terra. Uma sugestão possível será a construção de um modelo de um sistema simples de um diagrama de alimentação, que possa ser simulado em SPICE.

Outro trabalho futuro de muito interesse na confiabilidade dos sistemas, seria ao nível dos componentes eletrónicos usados no hardware. Este tema tem a ver com a inclusão de circuitos testáveis que permitam fornecer, aos técnicos que implementam o sistema, dados mais objetivos que facilitem a deteção da origem das interferências, para que seja mais fácil encontrar a técnica de mitigação adequada. Em particular, será necessário avaliar de que forma as técnicas de Design-for-Testability (DfT) implementadas nos circuitos integrados utilizados podem ser utilizadas para ajudar a testar as soluções de automação no terreno.

Por exemplo, técnicas como o Boundary-Scan e o controlador JTAG (Joint Test Action Group), que estão disponíveis na grande maioria de circuitos integrados mais complexos, como alguns microcontroladores ou ASICs (Application-Specific Integrated Circuit), poderão ser reutilizados para ajudar a testar as ligações entre equipamentos, da mesma forma como já são utilizados para testar as ligações entre circuitos integrados numa placa de circuito impresso.

Outro exemplo que poderá ser interessante estudar é a aplicação da técnica Built-In-Self-Test (BIST) a sistemas de automação. Esta técnica garante o autoteste dos circuitos e talvez possa ser adaptada a sistemas de automação, criando rotinas automáticas de teste off-line que avaliam a existência de erros nas comunicações entre os diferentes equipamentos.

É incontornável que as tendências das arquiteturas no futuro vão ser cada vez mais comunicantes, independentemente do protocolo ou meio de comunicação, quer se designe de IoT, ou outra qualquer tendência. Porém, para um funcionamento adequado das comunicações continuará a ser necessário utilizar as técnicas adequadas de instalação para mitigar os fenómenos interferentes e produzir o código adequado para tratar os erros de comunicação, tendo sempre em conta que os mesmos existem, independentemente da taxa de ocorrência.

Bibliografia

- [1] R. M. V. Gutierrez e S. S. K. Pan, “Automacao do Controle Industrial,” BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 2008.
- [2] A. M. L. G. Borracha, “Laboratório Remoto de Automação Industrial,” FCT, Lisboa, 2012.
- [3] F. Borges, “Redes de Comunicação Industrial,” Schneider Electric Portugal, Lisboa, 2007.
- [4] IEC, “IEC WebStore,” IEC, [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/searchform&q=61131>. [Acedido em 27 07 2016].
- [5] International Electrotechnical Commission, “IEC,” International Electrotechnical Commission, [Online]. Available: <http://www.iec.ch/>. [Acedido em 27 07 2016].
- [6] S. Y. Kevin M. Passino, “Fuzzy Control,” Addison Wesley Longman, Califórnia, USA, 1998.
- [7] PLCOpen, “<http://www.plcopen.org/>,” PLCOpen, 2016. [Online]. Available: <http://www.plcopen.org/>. [Acedido em 01 07 2016].
- [8] OPC Foudation, “<https://opcfoundation.org/>,” OPC Foundation, 2016. [Online]. Available: <https://opcfoundation.org/>. [Acedido em 01 07 2016].
- [9] Anderson Alves Diniz e Germano Luiz de Paula, “Padronização de Desenvolvimento de Supervisório e CLP para Redução de Custos, Melhoria Operacional e de Manutenção,” MG Brazil, Belo Horizonte, 2012.
- [10] J. Thompson, “Four Critical Process Automation Steps that Reduce Life Science Regulatory Compliance Cost,” Schneider Electric , Paris, 2014.
- [11] J. DELABALLE, Electromagnetic Compatibility, Grenoble: Schneider Electric SAS, 2001.
- [12] C. R. PAUL, Introduction to Electromagnetic Compatibility, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [13] E. C. |. P. Cabral, “A Marcação CE de produtos e a Compatibilidade

- Electromagnética,” em *Ordem dos Engenheiros - IEP*, Porto, 2013.
- [14] Schneider Electric SAS, Grounding and Electromagnetic Compatibility on PLC Systems, Schneider Electric SAS, 2004.
- [15] B. Perrin, The Art and Science of RS-485. Circuit Cellar Magazine, Circuit Cellar Magazine - Dallas/Maxim Semiconductor, 2001.
- [16] C. Cassiolato, “Dicas de Blindagem e aterramento em Automação Industrial,” SMAR, 2011.
- [17] InteSusal, “<http://intesusal-algae.eu/>,” InteSusal, 2016. [Online]. Available: <http://intesusal-algae.eu/>.
- [18] Modbus org, MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02, <http://www.modbus.org/>, 2006.
- [19] Schneider Electric SAS, SoMachine Programming Guide, FRANCE: Schneider Electric SAS, 2015.
- [20] Schneider Electric SAS, Modicon M241 Logic Controller Programming Guide, PARIS: Schneider Electric SAS, 2015.

APENDICE A – Lista de Projetos

O presente anexo apresenta alguns projectos de automação industrial, assentes em arquitecturas comunicantes.

A minha participação neste tipo de projectos foca-se em grande parte na definição da arquitectura e da solução e acompanhamento da execução e consignação.

Quando os projectos passam para execução faço o acompanhamento, no sentido de perceber se a performance e a implementação está a corresponder ao esperado, até á fase final da consignação, onde é preciso assegurar a garantia da satisfação do cliente.

A necessidade do trabalho de definição da arquitectura tem a ver com a dinâmica própria dos projectos que envolvem automação, a qual passo a explicar:

Desde que um projecto que envolva automação é criado até que é implementado existe uma janela temporal, mais ou menos longa.

Como sabemos a tecnologia envolvida neste projectos tem uma rápida evolução e um ciclo de vida bastante curto.

É comum que na fase de implementação do projecto, não exista mais que uma caderno de intenções, ou de necessidades daquilo que é pretendido que o sistema realiza, mas não os detalhes de como o mesmo possa ser feito.

Este trabalho normalmente é feito em parceria com o integrador encarregue da implementação e programação.

Sistema de rega do campo de Golfe Laranjal – LUDO Julho de 2007

O caderno de encargos previa a construção de um sistema distribuído, que incluía três captações de água em três furos e uma estação de bombagem e rega, com apoio de duas lagoas.

Pretendia-se nesta obra implantar um sistema de controlo e comando nos vários pontos da instalação, de forma a otimizar os níveis de água nas lagoas, em consonância com a capacidade dos furos, bem como medir e controlar os consumos de energia.

Desta forma foi implementado um sistema de comando e controlo constituído por:

- 3 PLC Twido – 14E/10S, comunicação ModBUS sobre RS485.
- 1 PLC Twido – 24E/16S, comunicação ModBUS sobre RS485+comunicação sobre TCP/IP.
- 1 PC com Vijeo Citect 150 pontos.
- 1 Variador de velocidade ATV61 75 kW
- 3 Arranadores progressivos ATS48 de 75 kW.

A arquitectura implementada foi a seguinte:

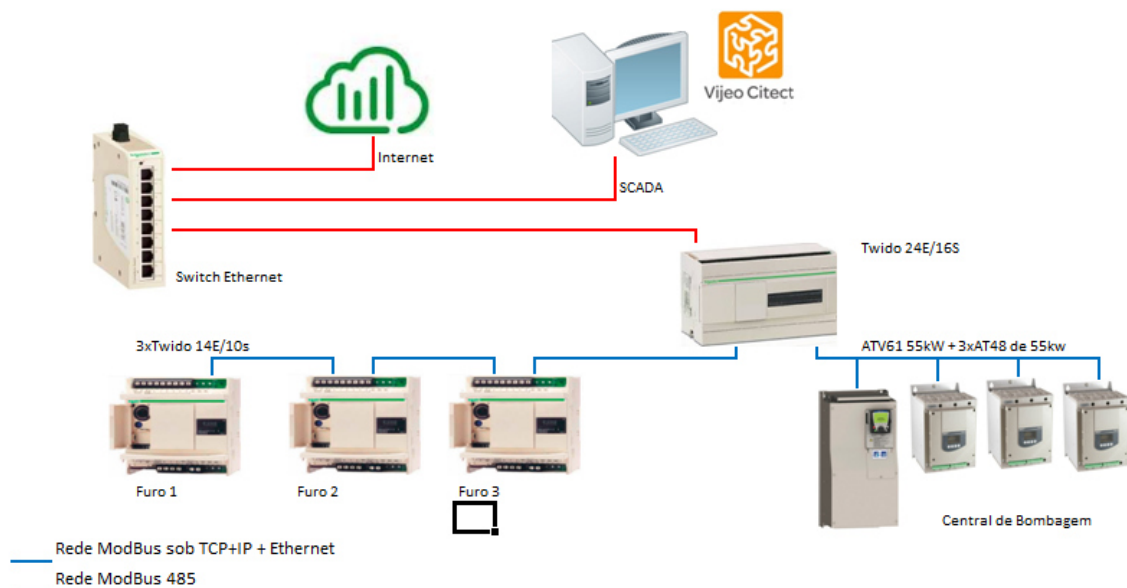


Figure 1 – Diagrama da rede de rega do campo de Golfe Laranjal – LUDO Julho de 2007

. Os desafios ao nível das comunicações nesta obra prendiam-se com vários factores abaixo destacados:

- Necessidade de implementar a comunicação através do campo com cablagem desadequada em termos de compatibilidade com o ModBus RS485. Foram usados cabos de elevada secção e protecção mecânica por causa dos roedores e dos trabalhos nos campos. Cada sector (furo) fica afastado entre si, cerca de 1 km.
- Implementação de protecção para tensões induzidas por descargas atmosféricas, devido ao elevado índice ceráunico¹ dos campos de golfe. Estas protecções são necessárias mas degradam a performance da comunicação.
- Tráfego de dados significativo, por causa das necessidades de leitura de grandezas eléctricas dos *drivers* da estação de bombagem.
- Interferências electromagnéticas no quadro eléctrico devido á THDi (Taxa de Distorção Harmónica Total em Corrente) produzida pelo variador de frequência.

Devido ás distâncias entre sites, e a cablagem disponível a comunicação possível foi ModBus RTU sobre RS485. Devido ás distâncias entre sites, foram criadas sub-redes sendo o “Furo2” *master* da rede sob o “Furo 1”, e o “Furo3” *master* da rede sob o “Furo 2”, sucessivamente até á estação de bombagem que é *master* da rede sob os equipamentos “Furo 3” bem como os variadores e arrancadores da estação.

Cada um dos PLC’s designados por “Furos” efectua o comando, controlo e monitorização de um accionamento motor no respectivo local

O controlo e comando dos accionamentos de motores são feitos por ligações fio a fio. O variador de frequência através das suas funções integradas de controlo proporcional integral (*PI*) embebidas efectua o controlo de pressão. Desta forma mitigam-se os efeitos dos atrasos na comunicação para não comprometer a performance do processo.

A rede de automação recolhe dos *drivers* por comunicação bem como os dados de consumos de energia, outras grandezas eléctricas, tempos de operação.

Além disso gere as várias ordens de operações de equipamentos

O software SCADA (*software* do Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, proveniente do inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*) trata a informação recolhida, e produz uma interface de utilizador amigável para o mesmo.

¹ **Índice Ceráunico** indica o número de dias de trovoadas numa determinada região por ano

Comando da cadeia de abate do matadouro “MATADERO MAGNUN” Zamora, Spain Setembro de 2010

Esta obra de concepção e construção tinha por objectivo a renovação da automação da cadeia de abate do “Matadero Magnus” em Barcelona.

Este projecto foi executado pela Zembe S.A. sob orientação do Eng. César Portero.

Em termos de concepção esta linha assume as características de uma tradicional “linha de produção”.

O principal desafio em termos de comunicações prende-se com a capacidade da rede em termos de assegurar a velocidade e controlo dos vários conversores de frequência, em ambiente com elevada perturbação electromagnética.

Outra inovação desta arquitectura foi a capacidade de efectuar a gestão, operação e manutenção incluindo a modificação da programação de forma remota.

Fez-se uso das capacidades do CPU M340 em termos de interligação ao *software* de programação e consignação por rede Ethernet, permite assim via VPN efectuar a gestão remota.

Dada a distribuição física dos equipamentos, recorreu-se a soluções de IO distribuído de forma a diminuir a densidade e comprimento da cablagem.

Por outro lado foi necessário acautelar a adequada implementação da cablagem de comunicação, de forma a evitar erros de comunicação.

Devido á exigência do processo em termos de tempo de resposta ás operações a comunicação ModBus RTU sob RS485, operando 19200bps ficou no limiar da sua capacidade máxima, o que obrigou ao acautelar a adequada implementação da cablagem de comunicação, de forma a minimizar erros de comunicação.

Este projecto é particularmente sensível aos tempos de operação, que em caso de descoordenação poderiam levar a problemas e avarias nas máquinas uma vez que as operações são encadeamento.

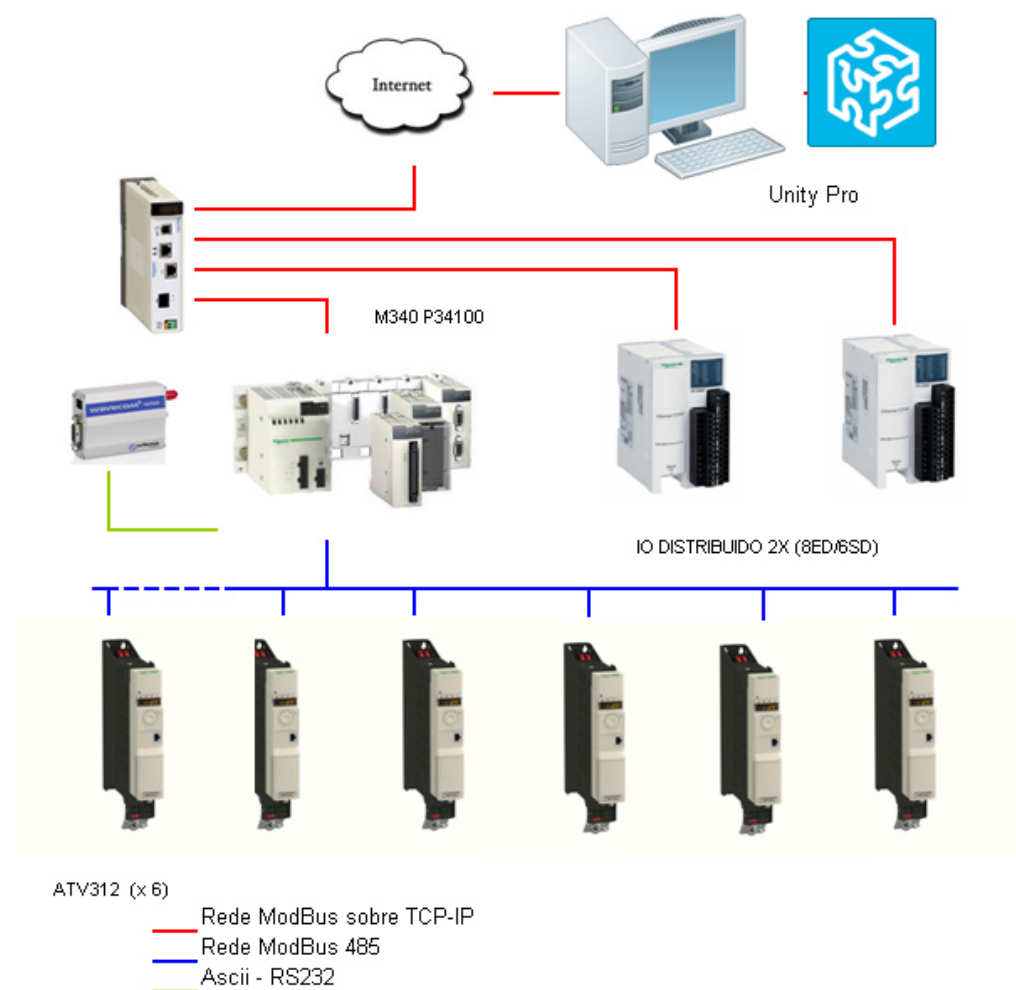


Figure -2 Diagrama da rede da cadeia de abate do matadouro “MATADERO MAGNUS” Zamora, Setembro de 2010

Comando da cadeia Congelamento do matadouro “MATADERO MAGNUS” Zamora, Spain, Junho de 2011 - 2ª Fase

Neste sector da obra, em termos de concepção semelhante á de 2010 foi uma oportunidade para melhorar aspectos menos conseguidos no projecto anterior.

Alterou-se a solução de comunicação para protocolo CAN-OPEN, aumentando as performances ao nível da velocidade de transmissão de dados.

Com a utilização de CAN-OPEN, foi possível operar os accionamentos por comunicação.

Para garantir uma performance elevada da comunicação foi usada cablagem de comunicação pré-fabricada para garantir uma performance excelente.

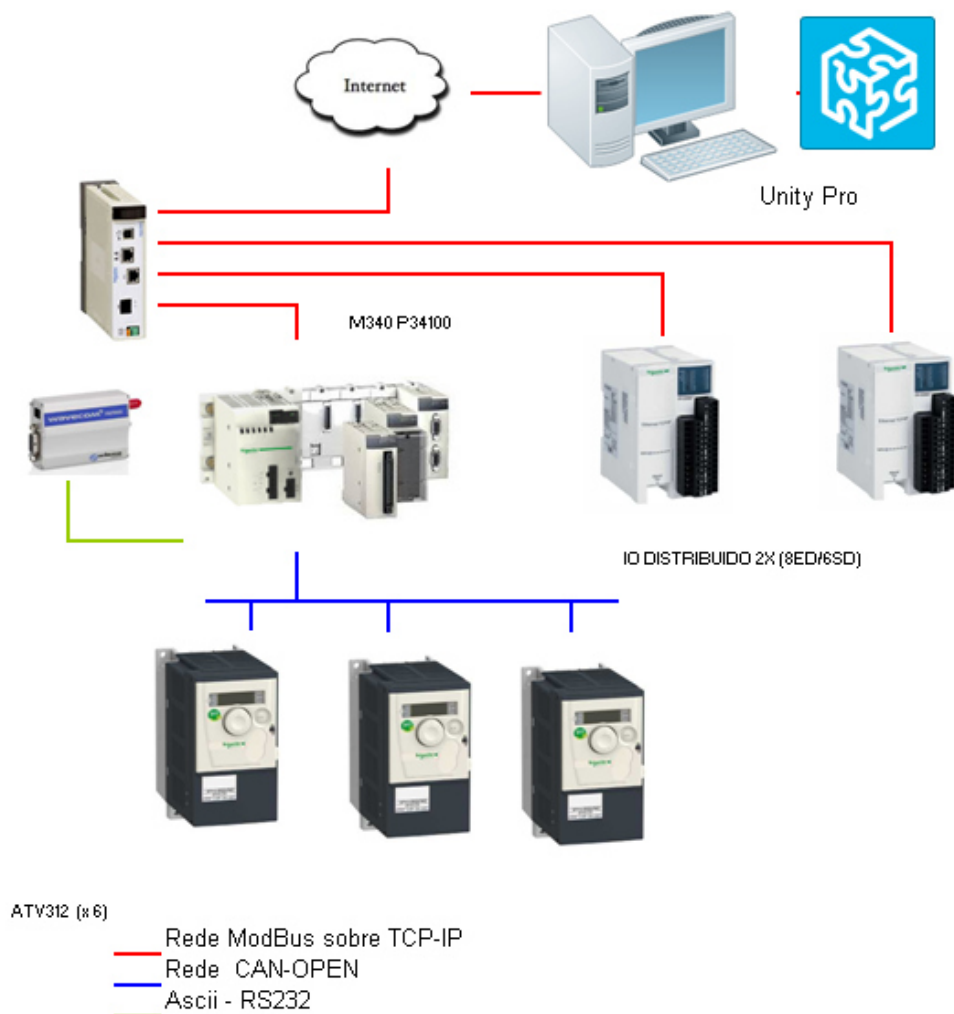


Figure 3 Diagrama da rede de Comando da Congelamento do matadouro “MATADERO MAGNUS”
Zamora Junho de 2011

Rede do sistema de medida da Universidade do Algarve.

A universidade do Algarve implementou nos seus diversos sites, sistemas de medição e registo de consumos de energia.

A medição da energia é feita por sector e por período de tempo. O objectivo dos dados obtidos é a compreender os comportamentos de cada tipo de cada área/sector e de cada tipo de cargas, com vista á implementação de procedimentos de optimização de consumos e operação.

O modelo de rede da figura seguinte tipifica a solução desenhada para os vários projectos.

As centrais de mediada de elevada precisão do tipo Powerlogic® efectuem as medidas e disponibilizam as mesmas por comunicação ModBus RS485.

Da mesma forma os disjuntores de corte e protecção de elevado calibre da série NSX para calibre iguais ou inferiores a 630A e NS para calibre superiores iguais ou superiores a 800A também disponibilizam grandezas eléctricas via comunicação Modbus RS485.

A Gateway EGX100 recolhe a informação em Modbus485 e disponibiliza a mesma em Ethernet e em Modbus sobre TCP-IP.

Dentro rede Modbus RS485 dentro dos quadros eléctricos, com uma elevada imunidade aos campos eléctricos e magnéticos gerados no interior dos mesmos, e ao mesmo tempo de fácil implementação e baixo custo.

Para interligar com a rede informática, utilizamos a EGX100, que consiste numa gateway que efectua a mudança de protocolo de Modbus RS485 para Modbus sob TCP/IP e para Ethernet.

A informação dos vários *sites* pode ser reunida, tratada e partilhada na *cloud* ou num sistema central dentro do *campus*.

Uma questão técnica importante nos equipamentos de elevado calibre, é o facto de os módulos de comunicação se interligarem aos módulos de medida por optoacopladores para melhorar a CEM, anulando a transmissão de interferências por acoplamento galvânico, e reduzindo o acoplamento capacitivo e indutivo.

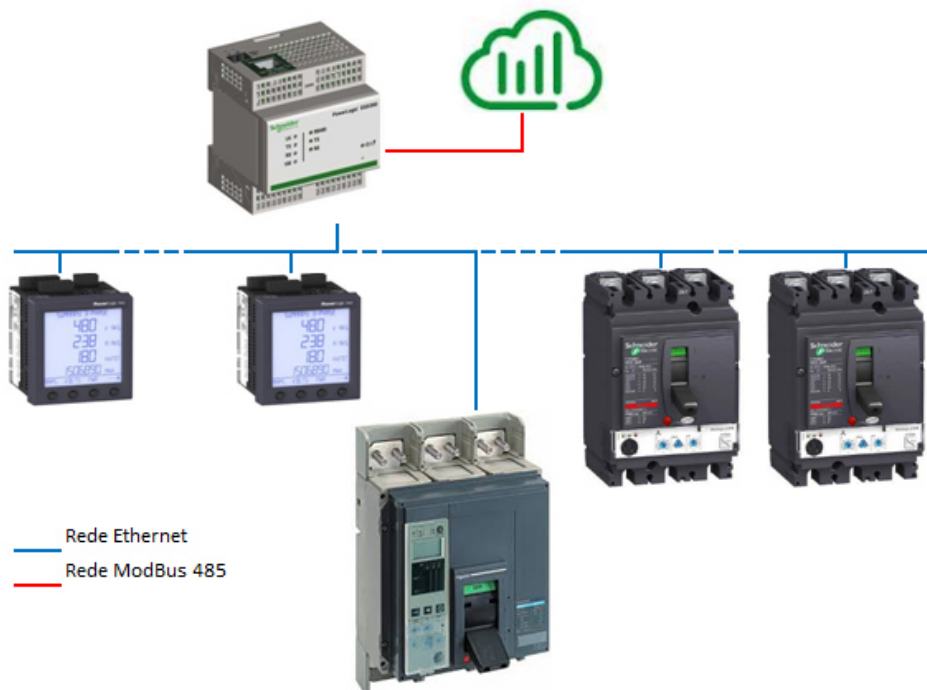


Figure 4 – Rede do sistema de medida da Universidade do Algarve.

Sistema de comando e controlo de filtros do Zoomarine - 2012/2013

O projecto de automatização do comando e controlo do sistema de filtros do Zoomarine, visou a modernização e optimização do mesmo existente com objectivo de automatizar o processo e torna-lo mais eficiente em termos de consumos energéticos e de performance.

O projecto teve a participação dos vários especialistas de processo por parte do Zoomarine, e foi executado pela Zembe S.A. sob orientação do Eng. César Portero.

O exemplo aqui apresentado corresponde a um conjunto de quatro filtros numa determinada zona área.

Cada filtro é gerido por um PLC da gama Twido, que opera, quatro accionamentos motores por variadores de velocidade Altivar 312.

Cada filtro possui o seu HMI e pode operar de forma autónoma.

Um PLC da gama M340 efectua a gestão de processos auxiliares e efectua o tratamento das variáveis dos quatro filtros.

Como a eficiência do processo é um dos objectivos chave, a medida de energia é assegurada por equipamentos de elevada precisão, tipo Powerlogic® PM320. Estes equipamentos são lidos pelo PLC M340, onde os dados são tratados e relacionados com o processo.

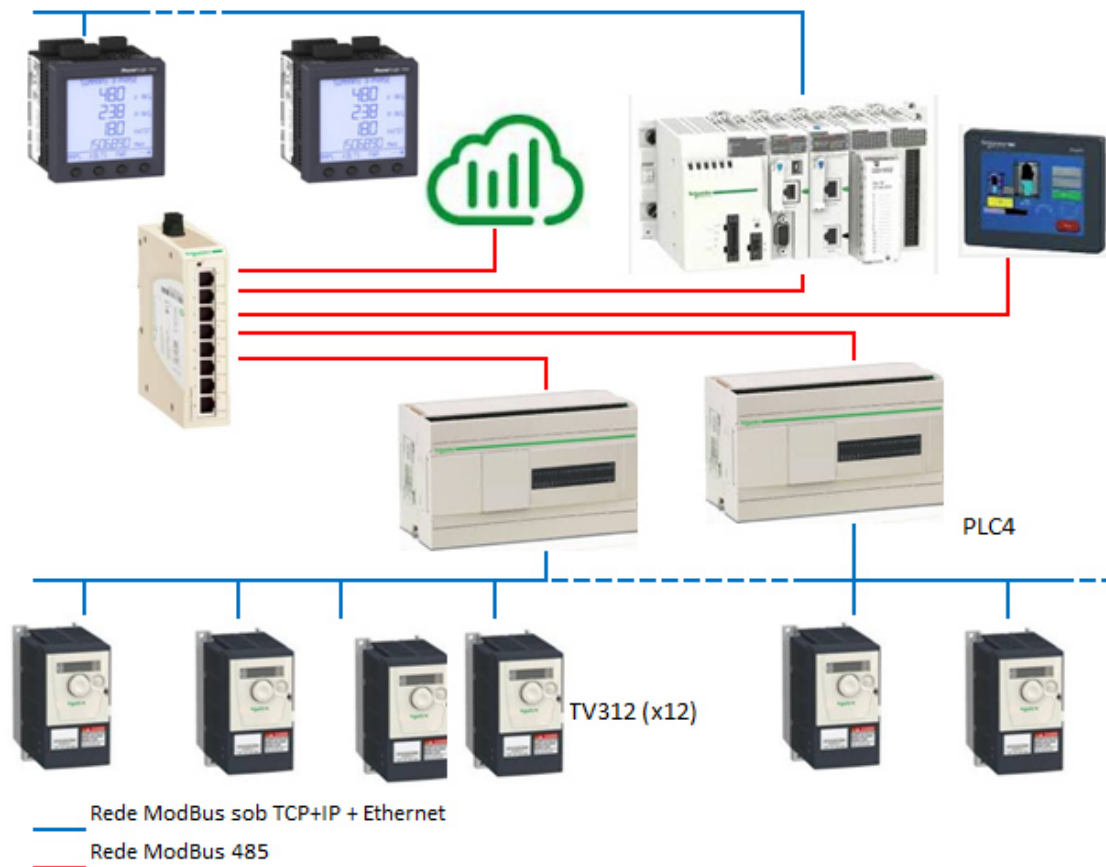


Figure 5 – Diagrama da rede de um dos grupos de controlo e comando dos filtros do Zoomarine – 2012/2013

A utilização de ModBus RTU sob RS485 foi a solução adoptada por estar disponível de base em simultâneo nos equipamentos de medida, nos variadores de frequência e nos PLC's esta solução é fácil e de baixo custo na implementação, e consegue cobrir as distâncias necessárias entre os equipamentos.

Por outro lado o HMI, bem como o PLC principal interligam por ModBus TCP-IP aos restantes PLC's dando assim resposta ao elevado volume de dados necessário.

Necton – Reactores de Produção de micro algas – Belamandil – Olhão – Em execução.

O presente projecto constitui uma implementação recente cujo planeamento geral se iniciou durante o ano de 2013. Em meados de 2014 começaram a ser tratados os detalhes específicos, e criadas as bases da arquitectura que ficou fechada em Março de 2015, encontrando-se á datam da conclusão deste relatório na fase de consignação e ajustes.

Neste projecto participam da parte de processo o dono de obra Necton S.A. sobe a coordenação de Yago del Vale, na parte de instalador, quadrista e integrador a Rolear. ON sobe a coordenação de Nuno Domingues no sector eléctrico e da parte de projecto da solução de Automação a Schneider Electric Portugal sobe a minha orientação, e com a participação e dos colegas Alexandre Monteiro como *expertise* dos controladores Modicon M241 e M221 e como *expertise* da aplicação SCADA Vijeo Citect® os colegas Pedro Miguel Silva e Dino Alves.

O projecto divide-se em dois sites principais, (norte e sul) e cada uma das zonas comporta ilhas com elevada densidade de sinais.

Cada uma dessas ilhas é operada por um PLC, e não por I/O distribuído, de forma a permitir localmente implementar malhas de controlo básicas para suportar de falha nos PLC's principais.

O sistema SCADA também se encontra duplicado de forma a operar funções básicas em caso de catástrofe.

A rede de campo é assegurada em ModBus sobre 485, e a rede entre os sites é assegurada por um link de fibra óptica em ModBus sob TCP-IP.

A interligação ao SCADA é assegurada pela rede Ethernet sobre FTP.

Os accionamentos motores por variação de velocidade são comandados e controlados por comunicação.

Desta forma tornou-se critico criar uma rede robusta, nomeadamente em caso de compatibilidade electromagnética.



Arquitetura do sistema de automação
Produção de Microalgas

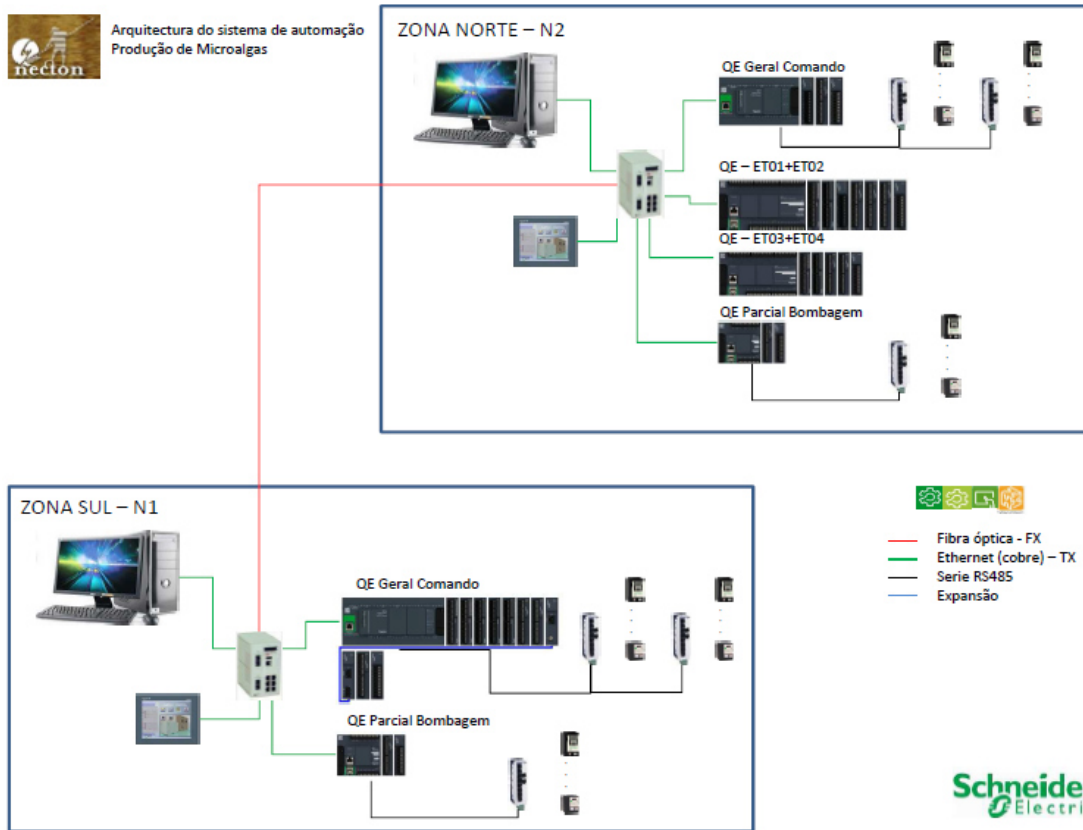


Figure -6 Arquitectura do projecto NECTON

APENDICE B – Protocolo ModBus

Neste trabalho vou debruçar-me essencialmente sobre o protocolo de comunicação ModBus RTU, assente em dois protocolos físicos, o TIA/EIA-485. Embora a data de elaboração deste trabalho seja cada vez mais comum a operação das redes industriais no suporte físico da Ethernet, a maioria das redes de automação ao nível do equipamento de mais baixo nível, continua a operar em RS-485.

Breves conceitos sobre o suporte TIA/EIA-485 (RS-485)

A norma TIA/EIA-485, conhecida popularmente como RS-485, descreve um interface de comunicação com dois condutores em que os sinais são transmitidos em série e os bits são representados por tensões diferenciais.

Esta rede por definição pode suportar até 32 unidades de carga. Numa fase inicial da norma pressupunha-se 32 dispositivos, uma vez que o conceito se referia a uma unidade de carga, como a potência disponível para cada dispositivo. Actualmente como os “drivers” RS485 dos dispositivos apresentam um menor consumo, traduz-se da possibilidade de colocar mais dispositivos na mesma rede.

O meio físico habitual é um cabo em que os condutores constituem um par trançado.

Através deste único par de condutores, cada dispositivo transmite e recebem dados.

Cada dispositivo passa de um estado de alta impedância, para o modo de transmissão apenas no instante que necessita transmitir, mantendo-se á “escuta” no resto do tempo.

Em cada instante do tempo, apenas um dispositivo pode transmitir, o que caracteriza esta rede como half-duplex.

Existe um variante da rede RS-485 pode também utilizar 2 pares trançados, operando no modo full-duplex.

Linhas de Comunicação Balanceadas

O standart RS485 caracteriza-se pelo uso de uma tensão diferencial entre os dois condutores (geralmente um par trançado).

Os circuitos transmissores e receptores utilizados nestas interfaces utilizam como informação a diferença entre os níveis de tensão em cada condutor do par trançado.

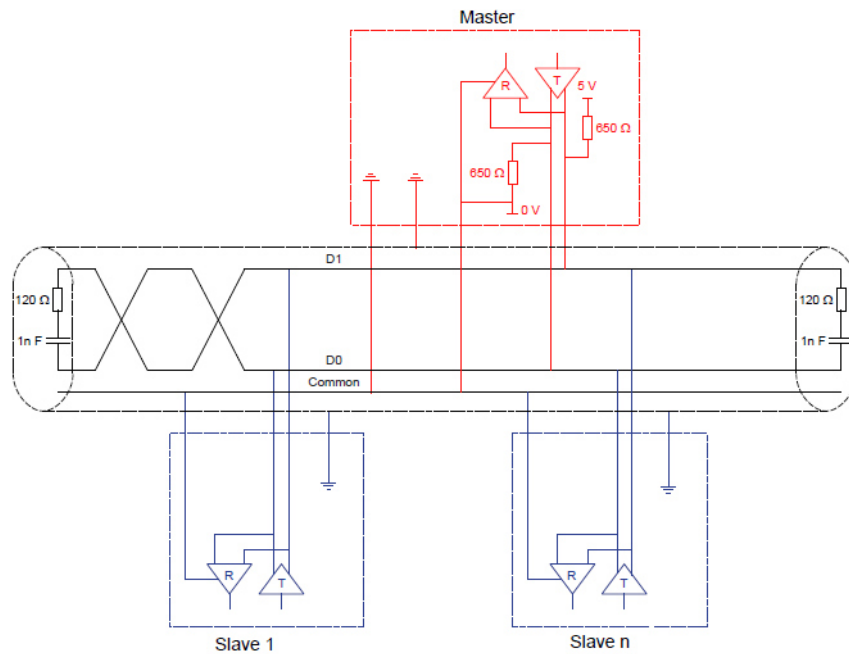
Os códigos binários são identificados pela polaridade (+ ou -) da diferença de tensão entre os condutores do par, ou seja, quando a tensão no condutor “+” for maior que no condutor “-”, é caracterizado um nível lógico “1”; quando, ao contrário, a tensão no condutor “-” for maior que no condutor “+”, é caracterizado um nível lógico “0”.

Uma margem de ruído de $\pm 0,2$ V é definida para aumentar a tolerância a interferências. Esta técnica resulta no cancelamento de ruídos induzidos no meio de transmissão, pois se o mesmo ruído é induzido nos 2 condutores, a diferença de tensão entre eles não se altera e a informação é preservada.

Resistências de Terminação

A teoria de comunicações descreve a necessidade de terminação de linhas de comunicação com um valor de impedância correspondente à impedância característica da linha de transmissão. A correcta terminação atenua reflexões que distorcem os dados transmitidos, aumentando os limites de velocidade e/ou comprimento da rede.

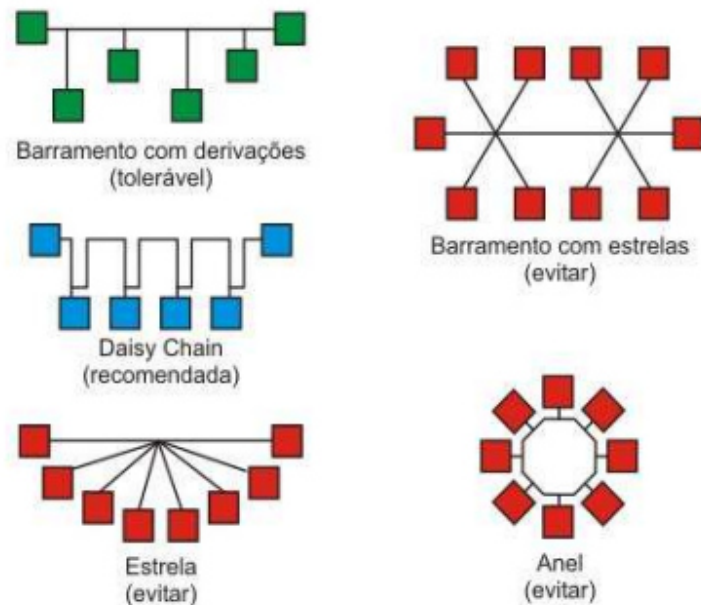
A figura seguinte é proveniente do documento Modbus_over_serial_line_V1.2.pdf, Dezembro de 2006, disponível em Modbus.org



As redes que não possuem a impedância de terminação RC de 120W representada na figura em ambas as extremidades, dificilmente podem operar em comprimentos superiores a 100m, com a fiabilidade necessária.

Topologia

A topologia da rede influencia a velocidade que é possível obter sem erros sistemáticos. As derivações e a forma como são feitas influenciam essencialmente o fenómeno das reflexões. O modelo "daisy chain", onde todos os dispositivos são conectados directamente aos condutores da linha de comunicação principal, é o que permite melhores resultados, pois é fácil controlar as reflexões causadoras de erros de comunicação.

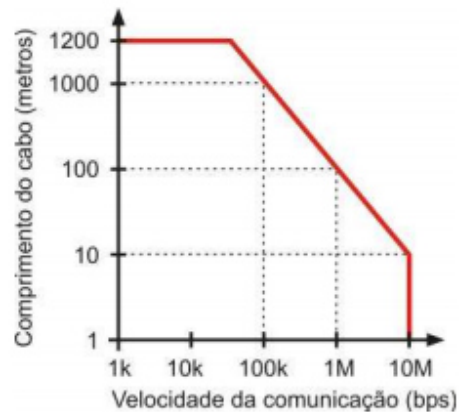


Limites de distância e velocidade

A figura a seguir ilustra o compromisso entre a velocidade da comunicação e o comprimento máximo do cabo. O desempenho de um sistema irá variar de acordo com o tipo de cabo, terminações, topologia da rede, interferências presentes no ambiente e qualidade dos transmissores e receptores de cada dispositivo da rede.

A norma especifica o limite aceitável de 1200m, como o limite seguro para comunicação fiável em RS485.

Este limite, foi obtido com estudos sobre os cabos comerciais normalizados numa topologia “daisy chain”.



Modelo de comunicação

A aproximação Modbus ao modelo OSI aparece ao nível das camadas 1, 2 e 7, respectivamente camada física, ligação e aplicação:

Nível físico (nível 1): Par trançado, máximo de 19200 Bauds, RS232/RS485/Anel de corrente. O Standart em ambientes industriais é o RS485.

Ligação de dados (nível 2): Acesso à rede por mecanismo tipo mestre/escravo. Controlo de erros por CRC16 (Modo RTU). Num método de acesso tipo mestre/escravo, a iniciativa do envio de mensagens está restringida ao mestre. Se uma resposta fôr requerida, os escravos respondem à solicitação do mestre, ou então limitam-se a executar as acções pedidas pelo mestre. O mestre pode dirigir-se individualmente aos escravos, ou difundir mensagens dirigidas a todos os escravos (Broadcast), inserindo nas mensagens o endereço 00.

Aplicação (nível 7): definiram-se neste nível as funções de leitura e escrita de variáveis (bits, Words, E/S), diagnóstico e estatísticas de ocorrência da rede.

Três standards possíveis de interface eléctrica : RS232 RS485 Anel de corrente

Este protocolo cria uma estrutura de hierarquia (um mestre e vários escravos).O mestre gere o conjunto das trocas, segundo dois tipos de diálogo :

- o mestre troca com o escravo e espera a resposta,
- o mestre troca com o conjunto dos escravos sem esperar a resposta (difusão geral).

Mecanismo pergunta/resposta

O mestre envia uma ORDEM e espera uma RESPOSTA.

Dois escravos não podem dialogar em simultâneo.

Formato geral de uma trama

A trama é construída da seguinte forma:



O endereço é um valor entre 1 e 247. (O valor 0 corresponde ao modo de difusão), em que não é pedida resposta aos escravos.

Apesar de o standart do ModBus prever várias funções, nos dispositivos actuais são usadas as quatro funções da tabela seguinte.

Code (decimal)	Function name	Broadcasting	Max. value of N	Modbus standard name
3	Read N output words	NO	29 words max.	Read Holding Registers
6	Write one output word	YES	–	Preset Single Register
16	Write N output words	YES	27 words max.	Preset Multiple Regs
43	Identification	NO	–	Read Device Identification

O CRC (controlo de redundância cíclica) é calculado pelo seguinte método:

Initialize the CRC (16-bit register) to 16#FFFF.

Enter the first to the last byte of the message:

```
CRC      XOR      <byte> —> CRC
Enter    8 times
         Move the CRC one bit to the right
         If the output bit = 1, enter CRC XOR 16#A001—> CRC
End enter
End enter
```

O primeiro byte do CRC é transmitido em primeiro lugar.

O final da mensagem é assinalado por uma ausência de comunicação superior ao tempo de três bytes.

Logo que a mensagem é recebida pelo escravo, este último lê a palavra de controlo aceitando ou recusando (em qualquer caso, este não responde).

APENDICE C – Curriculum Vitae

1 Percurso Académico e Profissional

1.1 Formação Académica

- Bacharelato em Engenharia Elétrica e Eletrónica, ramo de Tecnologias de Informação e Telecomunicações da Escola Superior de Tecnologia (atual Instituto Superior de Engenharia) da Universidade do Algarve em Dezembro de 1999, com a média final foi de 15 valores.
- Licenciatura em Engenharia Elétrica e Eletrónica, ramo de Tecnologias de Informação e Telecomunicações, na Escola Superior de Tecnologia (atual Instituto Superior de Engenharia) da Universidade do Algarve em Dezembro de 2004, com a média final foi de 15 valores.

1.2 Atividade profissional.

1.2.1 Algarfone, Lda - Novembro de 1999 e Agosto de 2000.

Responsável Centro Técnico – A atividade fundamental do centro técnico consistia na reparação de terminais móveis das marcas *Ericsson*® e *Nokia*®, dentro e fora de garantia.

As funções desempenhadas nesta organização foram:

- Ampliação do centro técnico numa nova localização física, aquisição de equipamento nomeadamente equipamento informático e ferramentas.
- Implementação de um modelo organizacional ISO9000, com vista a melhorar a operacionalidade do centro e alinhar a estratégia com os principais clientes (*Ericsson*® e *Nokia*®, Telecel e Optimus). Os processos implementados de acordo com esta metodologia visam essencialmente:
- Medir e melhorar a satisfação dos clientes
- Optimizar os tempos de resposta e a qualidade do diagnóstico e da reparação.

- Implementar diagramas de detecção de avarias.
- Implementação de planos de formação.
- Coordenação da atividade diária, com monitorização de:
- Níveis de atividade e rentabilidade.
- Satisfação dos clientes.
- Níveis de sucesso das reparações.
- Implementação de procedimentos de reparação com vista a elevar os níveis de sucesso, com base na experiência adquirida e produção de documentação (ex: diagramas em árvore).
- Negociação e angariação de clientes empresariais (ex: Telecel e Optimus).

1.2.2 LEO – Instalações Elétricas Lda - Agosto de 2000 e Julho de 2005.

Nesta organização onde trabalhei durante cerca de cinco anos, integrado no departamento de produção desempenhei as seguintes funções:

- Função de gestor de obras, e responsabilidade sobre o setor de telecomunicações e eletrónica, dividido nos seguintes grupos, com as respetivas responsabilidades:
- Gestão dos processos de certificação da empresa como projetista e instalador de redes de cablagem estruturada. Esta atividade divide-se em três partes (Projeto, Implementação e Teste). As funções que me estavam associadas eram:
- Obtenção de formação e atualização tecnológica.
- Formação e apoio na execução.
- Formação e apoio nos testes.
- Gestão da base de dados de ensaios, emissão de relatórios e certificados de garantia.
- Gestão da operacionalidade e funcionamento adequado do equipamento de ensaios, nomeadamente pelos testes de precisão e calibração.
- Orçamentação e selecção de equipamento ativo.
- Responsável pela atividade de instalação de Sistema Automáticos de Detecção de Intrusão, onde desempenhei maioritariamente as seguintes funções específicas:

- Apoio à orçamentação e selecção de equipamentos.
- Formação de equipas de instalação e colocação em serviço.
- Suporte técnico às equipas de instalação.
- Responsável pela atividade de instalação de Sistema Automáticos de Detecção de Incêndio, onde desempenhei maioritariamente as seguintes funções específicas:
 - Apoio à orçamentação e selecção de equipamentos.
 - Formação de equipas de instalação e colocação em serviço.
 - Suporte técnico às equipas de instalação.
 - Gestão técnica de obras de electricidade e telecomunicações com as seguintes:
 - Gestão e controlo de custos.
 - Gestão de contratos com prestadores de serviços.
 - Suporte técnico às equipas de instalação.

1.2.3 Schneider Electric Portugal – Julho de 2005 a Agosto de 2007

No período entre Julho de 2005 e Agosto de 2007 trabalhei integrado na equipa de prescrição, com responsabilidade pelo suporte aos gabinetes de engenharia na área da geográfica do Algarve.

Os gabinetes de engenharia acompanhados no âmbito deste trabalho realizam projeto de licenciamento e/ou execução nas áreas:

- Distribuição elétrica em baixa tensão nas áreas residenciais, terciário ou industrial.
- Distribuição elétrica de média tensão no setor da distribuição pública ou setores terciários e industriais.
- Automação e controlo industriais.
- Sistemas de gestão técnica em edifícios.
- Sistemas de gestão de energia em edifícios.

As funções designadas para esta função consistem essencialmente em:

- Preparação dos planos de apresentação dos novos equipamentos ou soluções.
- Suporte direto aos projetos, com construção de especificações técnicas sob a forma de memórias descritivas, cadernos de encargos ou peças desenhadas.
- Suporte às ferramentas (softwares) de apoio à prescrição.

1.2.4 Schneider Electric Portugal – Desde Agosto de 2007

Deste Agosto de 2007, até ao presente, assumi a responsabilidade pela atividade da empresa na área geográfica do Algarve.

Durante o período de Agosto de 2007 até Fevereiro de 2009 integrando uma equipa permanente de 3 elementos e com recursos partilhados.

De Fevereiro de 2009 até Junho de 2013 integrando um equipa permanente de 2 elementos e recursos partilhados.

Desde Junho de 2013 com uma equipa de recursos partilhados, de cerca de cinco elementos.

A função base consiste em gerir a implementação das medidas necessárias que garantam continuidade e sustentabilidade do negócio da empresa.

Medidas estas enquadradas na estratégia ou estratégias corporativas, com as respetivas adaptações à área geográfica em causa.

A operação da empresa alargou-se ao longo deste período, predominando a sua atuação nas áreas que se seguem:

- Distribuição elétrica em baixa tensão nas áreas residenciais, terciário ou industrial.
- Distribuição elétrica de média tensão no setor da distribuição pública ou setores terciários e industriais.
- Automação e controlo industriais.
- Sistemas de gestão técnica em edifícios.
- Sistemas de gestão de energia em edifícios.

- Planeamento, e execução de centros de dados incluindo:
- Energia Ininterrupta e distribuição elétrica.
- Sistemas de cablagem e distribuição de dados.
- Refrigeração.
- Segurança (Incêndio incluindo detecção e extinção, controlo de acessos)
- Soluções globais de software (anteriormente incorporadas na automação industrial).

Com vista ao desenvolvimento das unidades de negócio anteriormente descritas, a minha função dentro da organização centra-se maioritariamente nas seguintes atividades:

- Gestão das iniciativas de formação junto dos parceiros comerciais, incluindo a realização de acções de formação.
- Negociação e monitorização dos contratos comerciais com os parceiros comerciais.
- Suporte técnico aos parceiros comerciais, na elaboração de propostas e soluções.
- Suporte técnico aos parceiros comerciais na implementação e colocação em serviço das soluções ou equipamentos.
- Mantenho as funções descritas anteriormente relativamente ao apoio na prescrição aos gabinetes de engenharia.
- Monitorização dos indicadores de atividade, nomeadamente:
- Indicadores de Satisfação de clientes
- Operação Logística, e taxas de serviço.
- Indicadores de atividade tais como aparecimento novos projetos, e níveis de preço dos mesmos.

A estratégia da minha atividade consiste em transferir competências para os parceiros comerciais que possuem contrato com a empresa. Essa transferência de competências é feita a vários em vários níveis e segmentada de acordo com a atividade predominante de cada um dos parceiros.

Esta transferência de competências permite aos parceiros a independência necessária para operar, requerendo apenas suporte para questões de elevada complexidade. A transferência de competências pode-se apresentar a seguinte segmentação:

- Parceiros maioritariamente comerciais adquirem competências de seleccionar os produtos ou soluções adequados às necessidades dos seus clientes, ou ainda integrar soluções.
- Integradores ganham as competências necessárias para produzir soluções complexas (ex. soluções de automação industrial, terciário ou residencial), à medida das necessidades de cliente e com nível de performance e custo efetivo adequados.
- São transferidos médios para os prescritores produzirem nos seus projetos documentos com as especificações adequadas, de forma a gerar cadernos de encargos capazes de defender os interesses dos seus clientes.

Esta dinâmica permanente, assenta essencialmente no acompanhamento das necessidades de formação dos parceiros e clientes, e fornecimento do treino necessário.

O treino é fornecido tanto por acções de formação formais, por apresentações como por treino “*on job*”, normalmente perante situações efetivas.

O meu trabalho normalmente consiste na coordenação e selecção das acções de formação em função nas necessidades percebidas, e da estratégia de desenvolvimento. Normalmente estas formações são efetuadas pelo centro de formação da Schneider Electric, tratando-se de formações com conteúdo académico.

As apresentações de produtos, e respetiva formação específica fazem parte das minhas funções, onde tenho a colaboração dos especialistas de produto.

A concepção e implementação de soluções complexas são atividades, nas quais participo em parceria com os clientes integradores.

É com base na experiência adquirida, na participação de projetos de automação industrial desde 2005 que desenvolvo o presente trabalho.

No anexo A, são listados por ordem cronológica alguns projetos com interesse para o tema do presente projeto, onde participei ativamente.