



Instituto Politécnico de Tomar
Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Bruno Miguel Vicente Gomes

Realidade Aumentada Aplicada na Operação e Manutenção

Estágio

Orientado por:

Professor Doutor Paulo Manuel Machado Coelho (IPT)

Relatório apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar para cumprimento dos
requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Eletrotécnica

Instituto Politécnico de Tomar

Novembro /2021

Este projeto é dedicado a todos nós
que acreditamos nas maravilhas
da engenhosidade humana e no
potencial da tecnologia.

RESUMO

O relatório apresentado relata todo o percurso da realização de tarefas no âmbito do estágio curricular necessário para concluir o Mestrado em Engenharia Eletrotécnica. A descrição do trabalho efetuado na Manvia, empresa de manutenção e de prestação de serviços técnicos do grupo Mota-Engil, está presente neste relatório.

O trabalho desenvolvido durante o estágio divide-se em duas fases. Uma fase inicial dedicada à programação de autómatos e uma segunda fase na qual foi desenvolvido um projeto de aplicação da tecnologia de realidade aumentada na área da manutenção e operação. Este projeto de realidade aumentada é o foco principal deste relatório devido à sua complexidade e ao tempo dedicado ao planeamento e à sua implementação.

Para alcançar os objetivos do projeto realizado durante o estágio explorou-se as potencialidades de um *software* de realidade aumentada e realizou-se o estudo das características da infraestrutura onde foi implementada esta tecnologia.

Palavras-Chave: Automação Industrial, Realidade Aumentada, PLC, IoT.

ABSTRACT

The entire course of carried out tasks within the curricular internship required to complete the Master's Degree in Electrical Engineering in this report. The description of the work done at Manvia, the maintenance and technical services company of the Mota-Engil group, is included in this report.

The work developed during the internship is divided into two phases. An initial phase dedicated to the programming of programmable logic controllers and a second phase in which a project for the application of augmented reality technology in maintenance and operation areas was developed. This augmented reality project is the main focus of this report due to its complexity and the time devoted to planning and to the implementation.

To achieve the goals of the project made in the internship, an augmented reality *software* was explored and the characteristics of the infrastructure where this technology was implemented were studied.

Keywords: Industrial Automation, Augmented Reality, PLC, IoT.

AGRADECIMENTO

Os agradecimentos que deixo em primeiro lugar são para os meus familiares e amigos próximos que me apoiaram ao longo dos últimos anos.

Agradeço também à Manvia, pela oportunidade de realizar o estágio na empresa, e em especial ao Eng. Luís Mónico pelo tempo disponibilizado para me ajudar a concluir o estágio com sucesso.

Deixo ainda o meu agradecimento ao orientador, Professor Doutor Paulo Coelho pela disponibilidade, pelas orientações e por todo o apoio dedicado ao enriquecimento do meu conhecimento ao longo do meu percurso académico.

Índice

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
AGRADECIMENTO	ix
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xvii
Lista de Abreviaturas.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do Estágio	1
1.2. Estrutura do Relatório	2
2. Apresentação da empresa	3
2.1. História.....	3
2.2. Organização	4
2.3. Portefólio	5
3. Introdução às tecnologias	7
3.1. Automação industrial	7
3.1.1. Méritos de sistemas de automação industrial	7
3.1.2. Hierarquia de processos de automação industrial.....	8
3.2. Controlador Lógico Programável	9
3.2.1. Funcionamento	9
3.2.2. Componentes básicos de um PLC	10
3.2.3. Sistema operativo	11
3.2.4. Programação	12
3.3. Realidade Aumentada	13
3.3.1. Pontos fortes	13
3.3.2. Componentes	14
3.3.3. Aplicações AR.....	15

3.3.4.	Realidade aumentada na manutenção e reparação	17
3.4.	<i>Software</i>	18
3.4.1.	Augmented Operator Advisor	18
3.4.1.1.	Divisão de componentes	19
3.4.1.2.	Arquitetura do sistema AOA	19
3.4.1.3.	Augmented Operator Advisor Builder.....	21
3.4.1.4.	Augmented Operator Advisor Runtime	24
3.4.1.5.	Augmented Operator Advisor App.....	26
3.4.1.6.	Node-RED	26
3.4.2.	CX-Programmer	27
4.	Projeto da Estação Elevatória de Estanque	31
4.1.	Dispositivos - CPU e Módulos	31
4.2.	Programação	33
5.	Projeto de Realidade Aumentada	45
5.1.	Objetivos.....	45
5.2.	Planeamento.....	45
5.2.1.	Descrição das instalações	46
5.2.2.	Principais processos.....	47
5.2.3.	Definição de objetivos	49
5.2.4.	Equipamentos	49
5.3.	Desenvolvimento	50
5.3.1.	Desenvolvimento no AOA Builder	50
5.3.2.	Desenvolvimento no AOA Runtime	54
5.3.3.	Desenvolvimento no Node-RED.....	54
5.3.4.	Utilização do AOA App	60
6.	Resultados	61
7.	Conclusões	69

Anexo A.....	75
Anexo B.....	87

Índice de Figuras

FIGURA 1 - LOGOTIPO MANVIA. (MANVIA S.A., 2021).	3
FIGURA 2 - EQUIPAS E MEIOS DE QUALIDADE (MANVIA S.A., 2021).	4
FIGURA 3 - ORGANOGRAMA FUNCIONAL DA EMPRESA MANVIA (MANVIA S.A., 2018).	5
FIGURA 4 - HIERARQUIA DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL (SCHNEIDER ELECTRIC, 2018).	9
FIGURA 5 - LÓGICA <i>LADDER</i> (PLCDEV, ©2021)	13
FIGURA 6 - HMD - GLASS ENTERPRISE EDITION 2 (GOOGLE, 2013).	14
FIGURA 7 – EXEMPLO DE UM HHD. TABLET DA HYUNDAI (HYUNDAI MOTOR COMPANY, ©2021).....	15
FIGURA 8 - SPATIAL DISPLAY DA SONY (SONY CORPORTATION, ©2021).	15
FIGURA 9 - ASSISTENTE DE NAVEGAÇÃO DO AEROPORTO GATWICK COM BASE EM TECNOLOGIA AR (VRFOCUS).....	16
FIGURA 10 - APLICAÇÃO IKEA PLACE (INTER IKEA SYSTEMS, 2021).....	16
FIGURA 11 - APLICAÇÕES AR PARA FINS CIRÚRGICOS (MEDIVIS, ©2020).	17
FIGURA 12 - ORGANIZAÇÃO DOS DIVERSOS COMPONENTES DO AOA (SCHNEIDER ELECTRIC, 2020).....	20
FIGURA 13 - OPERAÇÕES A REALIZAR EM CADA COMPONENTE DO AOA.....	21
FIGURA 14 - INTERFACE GRÁFICA DO AOA BUILDER.....	21
FIGURA 15 - AUGMENTED OPERATOR ADVISOR APP (SCHNEIDER ELECTRIC, 2020).....	26
FIGURA 16 - INTERFACE GRÁFICA DO NODE-RED.....	27
FIGURA 17 - JANELA INICIAL DO CX-PROGRAMMER.	28
FIGURA 18 - TABELA I/O DE UM PROJETO NO CX-PROGRAMMER.	29
FIGURA 19 - LISTA DE SÍMBOLOS LOCAIS.	30
FIGURA 20 - VISTA DE DIAGRAMA DE UM PROGRAMA EM LINGUAGEM <i>LADDER</i>	30
FIGURA 21 - CPU, CJ1M-CPU11 (OMRON, 2020).....	31
FIGURA 22 - MÓDULO <i>ETHERNET</i> , CJ1W-ETN21 (OMRON, 2021).....	31
FIGURA 23 - MÓDULO DE COMUNICAÇÃO, CJ1W-SCU41-V1 (OMRON, 2021).....	32
FIGURA 24 - MÓDULO DE ENTRADAS DIGITAIS, CJ1W-ID211 (OMRON, 2021).....	32
FIGURA 25 - MÓDULO DE SAÍDAS DIGITAIS, CJ1W-OD212 (OMRON, 2021).....	33
FIGURA 26 - ADIÇÃO DAS UNIDADES À TABELA I/O.	34
FIGURA 27 - PROGRAMA E SECCÇÕES QUE O DIVIDEM.	36
FIGURA 28 - DIAGRAMA DA SECCÃO CLOCK.....	36
FIGURA 29 - DIAGRAMA DA SECCÃO GERAL.	37
FIGURA 30 - DIAGRAMA DA SECCÃO IN_DIGITAIS.....	38
FIGURA 31 - DIAGRAMA DA SECCÃO TRANS_VAR.	38
FIGURA 32 - DIAGRAMA DA SECCÃO RESET_CONTADORES.	39
FIGURA 33 - DIAGRAMA DA VERIFICAÇÃO DE FALHAS DE ENERGIA.	40
FIGURA 34 - DIAGRAMA DA DETEÇÃO DE FALHAS DE ARRANQUE DOS GRUPOS.....	40
FIGURA 35 - DIAGRAMA DAS CONDIÇÕES QUE DETERMINAM OS COMANDOS DE ARRANQUE E DE ALARME. 41	
FIGURA 36 - DIAGRAMA DA DETEÇÃO DE FALHA DE ARRANQUE DO VENTILADOR.	42
FIGURA 37 - TEMPO ON/OFF DO VENTILADOR.	42
FIGURA 38 - DIAGRAMA DA ATIVAÇÃO E DA DESATIVAÇÃO DO VENTILADOR.....	43

FIGURA 39 - DIAGRAMA DA ATIVAÇÃO E DA DESATIVAÇÃO DO AGITADOR.....	43
FIGURA 40 - VISTA GERAL DAS INTALAÇÕES.....	46
FIGURA 41 - ESQ.: DECANTADOR SECUNDÁRIO, DIR.: AGITADORES.	46
FIGURA 42 - ESQ.: ZONA DE OXIDAÇÃO QUÍMICA, DIR.: CUBA DE ÁCIDO FOSFÓRICO, AGITADOR E BOMBA DOSEADORA.	47
FIGURA 43 - EXEMPLO DE UM POI DO TIPO IMAGEM PARA INDICAR A OCORRÊNCIA DE UMA AVARIA E UM POI DO TIPO LISTA.	52
FIGURA 44 - ESQ.: CENÁRIO DE AREJADORES. DIR.: SUBCENÁRIO DO CENÁRIO DE AREJADORES COM MAIS DETALHES SOBRE EQUIPAMENTOS ESPECÍFICOS DESSE CENÁRIO.	52
FIGURA 45 - DIAGRAMA DE EXEMPLOS DE <i>TRIGGERS</i> DO PROJETO.	53
FIGURA 46 - DIAGRAMA DO FLUXO DE DADOS.	54
FIGURA 47 - TRANSFERÊNCIA DE DADOS DE SINAIS DIGITAIS DO PLC PARA O NODE-RED E SEPARAÇÃO DE DADOS.	55
FIGURA 48 - ENVIO DOS DADOS PARA O SERVIDOR AOA.	56
FIGURA 49 - EXEMPLO DE UMA FUNÇÃO INTRODUZIDA NO PROJETO. (MSG3 CORRESPONDE AO AVISO).	56
FIGURA 50 - TRANSFERÊNCIA DE DADOS DE SINAIS ANALÓGICOS DO PLC PARA O NODE-RED E SEPARAÇÃO DE DADOS.	57
FIGURA 51 - FLUXO DE MENSAGENS PARA CONSTRUIR PARTE DO <i>DASHBOARD</i>	58
FIGURA 52 - PARTE DO <i>DASHBOARD</i> DO CENÁRIO "VISTA GERAL" COM VÁRIOS <i>WIDGETS</i> DIFERENTES.	59
FIGURA 53 - TRÊS <i>WIDGETS</i> DIFERENTES USADOS NO <i>DASHBOARD</i> DO CENÁRIO "AREJAMENTO FINAL".	59
FIGURA 54 - CENÁRIO "AGITADORES DA LAGOA ANÓXICA".	61
FIGURA 55 - EXEMPLO DE ENTRADAS DIGITAIS FORÇADAS.	62
FIGURA 56 - EXEMPLO DE ENTRADAS ANALÓGICAS FORÇADAS.	62
FIGURA 57 - CENÁRIO "AREJADORES".	63
FIGURA 58 - CENÁRIO "AREJADORES" COM A EXPANSÃO DE UMA LISTA.	63
FIGURA 59 - CENÁRIO "ESTAÇÃO ELEVATÓRIA FINAL".	64
FIGURA 60 - <i>DASHBOARD</i> DO CENÁRIO "ESTAÇÃO ELEVATÓRIA FINAL ".	64
FIGURA 61 - CENÁRIO " NEUTRALIZAÇÃO QUÍMICA ".....	65
FIGURA 62 - DOIS SUBCENÁRIOS ASSOCIADOS AO CENÁRIO "NEUTRALIZAÇÃO QUÍMICA".	65
FIGURA 63 - CENÁRIO "ÁCIDO FOSFÓRICO".	66
FIGURA 64 - VISUALIZAÇÃO DA FICHA DE SEGURANÇA PRESENTE NO CENÁRIO "TANQUE DE NEUTRALIZAÇÃO".	67
FIGURA 65 - VISUALIZAÇÃO DO <i>DATASHEET</i> DAS BOMBAS PRESENTES NO CENÁRIO "ESTAÇÃO ELEVATÓRIA FINAL".	67

Índice de Tabelas

TABELA 1 - TABELA DE VARIÁVEIS DECLARADAS NO PROGRAMA.....	35
TABELA 2 - ESTRUTURA DO PROJETO DIVIDIDA EM ÁREAS, CENÁRIOS E SUBCENÁRIOS.....	51
TABELA 3 - TABELA DE DETALHES DO <i>DASHBOARD</i>	58

Lista de Abreviaturas

AOA - *Augmented Operator Advisor*

RA – Realidade Aumentada

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Continua

CNC - Controlo Numérico Computadorizado

CSMA/CD – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*

HHD - *Hand Held Display*

HMD - *Head Mounted Displays*

HMI - *Human Machine Interface*

IEC - *International Electrotechnical Commission*

IEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IPT – Instituto Politécnico de Tomar

I/O – *Input/Output*

IoT - *Internet of Things*

IPA – Interface de Programação de Aplicações

OSI - *Open System Interconnection*

PAC - *Programmable Automation controller*

pH – Potencial de Hidrogénio

PLC - *Programmable logic controller*

RV – Realidade Virtual

SCADA - *Supervisory Control And Data Acquisition*

SD - *Spatial Display*

SNTP - Simple Network Time Protocol

UC – Unidade Curricular

WAN - Wide Area Network

1. Introdução

A constante evolução da tecnologia e a elevada exigência de produção levam a que cada vez mais as indústrias tenham tendência a adotar sistemas automatizados, isto é, sistemas capazes de operar sem intervenção humana nenhuma ou quase nenhuma. Estes sistemas têm vindo a tornarem-se cada vez mais sofisticados e complexos e, a sua capacidade e o seu desempenho superam de diversas maneiras as habilidades dos humanos na realização das mesmas tarefas.

Na mesma direção seguem-se também os avanços das redes de comunicação para dar resposta ao aumento da necessidade de transmitir informação entre sistemas e/ou internamente. Este movimento promoveu certas tipologias como a *Ethernet* Industrial para interligar diferentes níveis da arquitetura de redes de comunicação industrial. A introdução e o desenvolvimento de autómatos juntamente com o processamento e a propagação dos dados obtidos nesses dispositivos é um forte exemplo das metodologias utilizadas nos dias de hoje e que prometem continuar a progredir (Schneider Electric, 2006).

Com base nestas tendências, surgiu a Internet das Coisas (IoT – Internet Of Things) em inglês e a Realidade Aumentada que embora ainda estejam numa fase relativamente inicial, já é possível concluir que terão uma forte presença no futuro. Estas abordagens levam a que diversos aparelhos estejam interligados entre si e com ligação à nuvem, permitindo assim automatizar e monitorizar “qualquer coisa”.

1.1. Enquadramento do Estágio

No âmbito da UC Projeto ou Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica surgiu a oportunidade de estagiar na empresa Manvia e trabalhar numa das áreas que mais me interessam, a automação. Inicialmente as minhas funções passavam por adquirir conhecimentos de protocolos de comunicação bem como conceitos relacionados com *software* dos autómatos da família OMRON e aplicar esses mesmos conhecimentos através, e na, programação dos autómatos. Pouco tempo depois foi-me atribuído um projeto para explorar e aplicar num sistema real, um novo *software* desenvolvido pela Schneider. Este projeto consistiu na combinação de uma aplicação de realidade aumentada da Schneider com um sistema automático de uma estação de tratamentos de águas lixiviadas de Aveiro.

Um dos objetivos deste estágio e do projeto incluído é adquirir e melhorar o conhecimento em diversas áreas como a automação, a realidade aumentada e redes de comunicação e, alargar o meu conhecimento geral em engenharia eletrotécnica. Também faz parte dos objetivos desenvolver habilidades técnicas e sociais que por um lado contribuem positivamente para a minha experiência pessoal, e claro, por outro lado, desenvolver e criar *Know-How* para a empresa que me ofereceu esta oportunidade.

1.2. Estrutura do Relatório

Este relatório divide-se em 7 capítulos onde são apresentados os temas focados no estágio e os procedimentos executados ao longo de nove meses ao serviço da Manvia. No presente capítulo (Capítulo 1) é feita uma breve introdução, onde se destaca uma descrição muito resumida do estágio e se apresenta a estrutura deste relatório. A apresentação da empresa encontra-se logo a seguir no capítulo 2. As matérias abordadas no estágio e a informação destas matérias estão presentes no capítulo 3 assim como os programas mais comuns nestas áreas e também aqueles que foram utilizados para executar as diversas tarefas no estágio. O capítulo 4 contém os procedimentos das tarefas que me foram atribuídas inicialmente e que correspondem à programação de autómatos da OMRON. No capítulo 5 estão presentes todos os detalhes do planeamento e do desenvolvimento do projeto de realidade aumentada no âmbito do estágio. Os resultados deste último projeto encontram-se no capítulo 6. Por último, uma breve conclusão foi apresentada no capítulo 7.

2. Apresentação da empresa

O estágio correspondente a este relatório foi efetuado na empresa Manvia do Grupo Mota-Engil (cujo seu logotipo encontra-se na Figura 1). A caracterização da empresa é descrita nas secções seguintes.



Figura 1 - Logotipo Manvia. (Manvia S.A., 2021).

2.1. História

A Manvia iniciou a atividade em 1998 com o objetivo de desenvolver o negócio da manutenção em Portugal. No ano 2000, assistiu-se à integração da empresa no Grupo Mota-Engil, permitindo um novo posicionamento no mercado da manutenção. Durante o ano de 2005, a Manvia passou a ser uma sociedade anónima dedicada à prestação de serviços de manutenção nos edifícios, ambiente, indústria e energia (Manvia S.A., 2021).

Atualmente a empresa conta com mais de 600 especialistas/colaboradores em várias áreas do negócio da manutenção. A Manvia construiu ao longo destes anos, uma sólida reputação em Portugal e no Estrangeiro, como empresa de manutenção e de prestação de serviços técnicos. Destaca-se pela sua competência e grande capacidade de resolução de problemas (Manvia S.A., 2021).

A Manvia é uma empresa certificada, dinâmica e inovadora, que tem vindo a conquistar o seu espaço e notoriedade no mercado da manutenção e do *facility management*.

Os resultados da organização são visíveis através da consolidação dos mercados onde atua e da crescente fidelização de clientes, que se preocupam em manter parcerias credíveis e responsáveis.

Como se pode observar na Figura 2, a Manvia dispõe de uma equipa dedicada, experiente e com capacidade para de uma forma pró-ativa contribuir com soluções para as diversas necessidades dos clientes. Dispõe de meios operacionais modernos, tecnologia informática atualizada e de parcerias com fornecedores assentes na confiança do trabalho conjunto para obter os melhores serviços, com qualidade e preços competitivos (Manvia S.A., 2021).



Figura 2 - Equipas e meios de qualidade (Manvia S.A., 2021).

A Manvia atua como um parceiro de *outsourcing*, associado ao ativo do cliente, permitindo acrescentar sinergias dos meios utilizados e levar à especialização, profissionalismo e economia.

A missão da empresa passa pela criação de valor na prestação de serviços, no âmbito da manutenção, de forma a libertar os clientes para o seu negócio e a visão é simples, a Manvia pretende ser uma referência nos mercados em que se insere (Manvia S.A., 2021).

2.2. Organização

A sede da Manvia situa-se em Linda-a-Velha, Lisboa e tem armazéns e escritórios em Alverca, Lisboa.

Conselho de Administração

- Nome: JOSÉ PEDRO MATOS MARQUES SAMPAIO DE FREITAS
- Cargo: Presidente

- Nome: PEDRO MANUEL CANCELA VIEIRA NEVES
- Cargo: Vogal

- Nome: PEDRO FILIPE SANTOS PEREIRA
- Cargo: Vogal

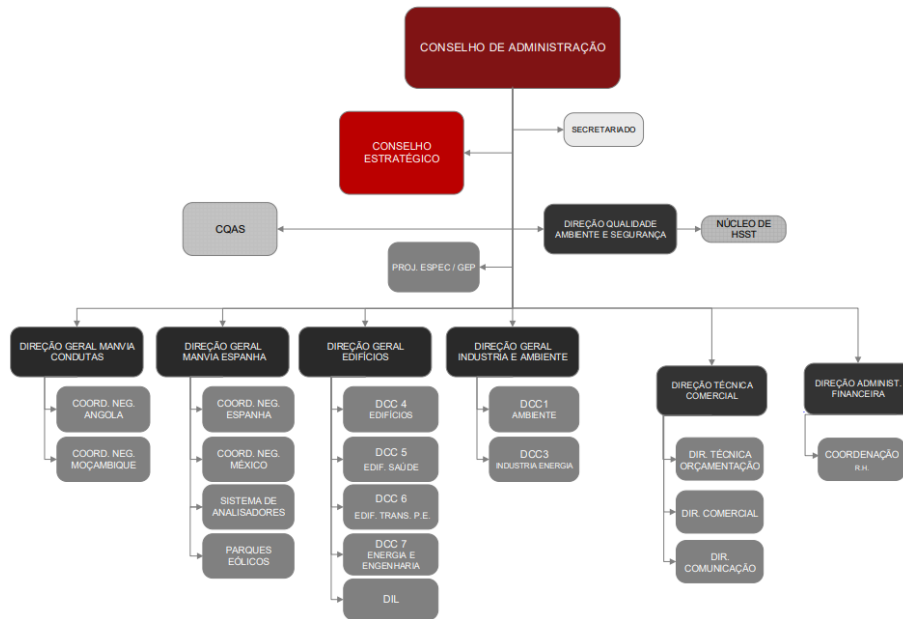


Figura 3 - Organograma Funcional da empresa Manvia (Manvia S.A., 2018).

2.3. Portefólio

A Manvia conta com uma experiência de cerca de 20 anos na área da prestação de serviços integrados de manutenção, sendo um dos principais *players* do mercado nacional nesta área. Tem no seu portefólio clientes de referência nacional e internacional, desde centros comerciais, escolas, casas de espetáculos, hotéis, bancos, infraestruturas de transportes, edifícios de serviços, entre outros, (Manvia S.A., 2021).

A Manvia possui um corpo técnico bastante diversificado e jovem, fator que permite uma evolução constante. Por outro lado, possui uma vertente de engenharia muito forte e é nesse fator que pretende acrescentar valor na atividade que desenvolve (Manvia S.A., 2021).

Disponibiliza uma diversidade de serviços especializados, dedicados e fiéis aos compromissos estabelecidos com os clientes, incluindo:

- *Facility Management*, integrando as áreas de *Hard Services* e *Soft Services*;
- *Hard Services* – Gestão e execução de manutenção de instalações e equipamentos de eletricidade, águas e esgotos, elementos construtivos entre outras;
- *Soft Services* – Gestão de contratos externos (Vigilância, limpeza, espaços verdes, segurança, *vending*, controlo de pragas entre outros);
- Conceção, implementação e auditoria de planos de manutenção programada;

- Serviço de Técnico de Instalação e Manutenção (TIM);
- Serviço de Técnico Responsável pela Exploração de Instalações Elétricas (TREIE);
- Serviço de Técnico Responsável pela Segurança Contra Incêndios em Edifícios (TRSCIE).

3. Introdução às tecnologias

3.1. Automação industrial

A automação industrial é uma abordagem de funcionamento de máquinas e equipamentos industriais. Faz uso de programas lógicos automatizados com a ajuda de diversos dispositivos especializados ou adaptados para esta funcionalidade. A diminuição substancial de erros humanos, o aumento da eficiência e da eficácia e a redução de custos, são os principais motivos que contribuem para a decisão de implementar sistemas de automação na produção industrial (PhD Assistance, 2020).

3.1.1. Méritos de sistemas de automação industrial

Os sistemas de automação industrial apresentam diversas vantagens, tais como:

Aumento da produtividade: sistemas de controlo de alto desempenho evitam perdas e intervalos de inatividade da produção. Desta forma a taxa de produção melhora significativamente permitindo assim produções em massa e/ou elevada eficiência e rapidez dos processos industriais (PhD Assistance, 2020).

Diminuição de custos: a implementação de diferentes métodos/abordagens com sistemas de automação na indústria diminui tempos de ciclos de produção, consumos de energia e a mão-de-obra necessária para execução dos diversos processos. A melhoria de cada um destes fatores tem consequências benéficas nos custos de operação,(PhD Assistance, 2020).

Redução de inspeções de rotina: a necessidade de ajuste manual de diferentes variáveis do sistema é eliminada por completo com a automatização do sistema. Os sistemas industriais mudam os seus parâmetros automaticamente para valores fixos ou solicitados, através de sistemas de controlo implementados no processo de automatização (PhD Assistance, 2020).

Aumento dos padrões de segurança: a automação industrial melhora a segurança dos trabalhadores substituindo-os por máquinas em ambientes de alto risco para a saúde humana. Em casos de avaria ou de erro humano que ponha os trabalhadores em perigo, os sistemas de controlo podem detetar essas situações de perigo e diminuir ou evitar danos físicos (PhD Assistance, 2020).

Melhoria de qualidade do produto: a automatização dos processos reduz a influência humana que por sua vez diminui os erros humanos nas operações da produção. Ao regular e monitorizar todas as fases dos processos de forma dinâmica, desde a fase inicial do produto, à fase final, a coerência e a qualidade do produto com maior conformidade são salvaguardadas com a automação (PhD Assistance, 2020).

3.1.2. Hierarquia de processos de automação industrial

As estruturas de automação industrial podem atingir níveis de complexidade muito elevados, devido ao elevado número de dispositivos e à grande exigência de coordenação. A organização destas estruturas tem uma hierarquia constituída, normalmente, por 3 níveis (Schneider Electric, 2018).

Nível de campo: o nível mais baixo da hierarquia é o nível de campo. Este nível de automação envolve equipamento como sensores e atuadores. A principal função deste nível é adquirir e transferir dados de processos e sistemas para os níveis mais altos, para serem monitorizados, analisados e processados e também, em sentido inverso, o nível de campo é responsável pela ativação dos atuadores de acordo com os dados provenientes dos níveis superiores (Schneider Electric, 2018).

Nível de controlo: no nível de controlo estão presentes diferentes tipos de equipamentos de automação, como por exemplo, *PLCs* (Controladores Lógicos Programáveis) e máquinas *CNC* (*Controlo Numérico Computadorizado*), e *software* de gestão e controlo. Estes equipamentos são responsáveis pela aplicação de diversas abordagens de controlo previamente programadas. Recebem informação dos outros níveis da hierarquia, fazem o processamento e análise dessa mesma informação e enviam comandos para os atuadores (Schneider Electric, 2018).

Nível empresarial e supervisão: o nível empresarial é o nível do topo da hierarquia. É o nível que controla toda a estrutura da automação no âmbito da empresa. É neste nível que estão envolvidas, por exemplo, etapas de planeamento de produção, gestão de consumos, encomendas, vendas, etc. Apesar de se focar essencialmente na economia e não tanto na área técnica, tem muita influência no sistema de automação. Por vezes este nível é distribuído por dois níveis, sendo o mais elevado, dedicado à gestão empresarial apenas (Schneider Electric, 2018).

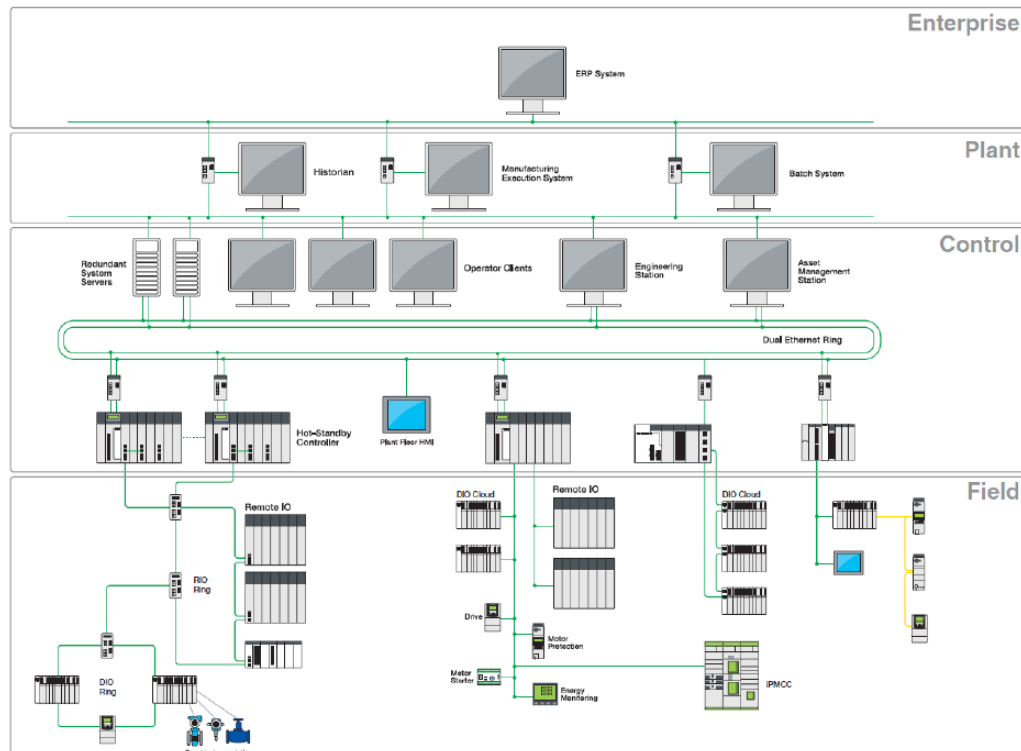


Figura 4 - Hierarquia de sistemas de automação industrial (Schneider Electric, 2018).

3.2. Controlador Lógico Programável

Um PLC, *Programmable Logic Controller* (Controlador Lógico Programável), ou autômato programável, é um dispositivo computacional desenhado para sistemas de controle industrial. Estes controladores são capazes de automatizar dispositivos, máquinas, processos específicos e até linhas de produção completas.

3.2.1. Funcionamento

O PLC recebe informação de sensores e outros dispositivos conectados, processa dados e ativa saídas com base em parâmetros e algoritmos programados. Dependendo das entradas e saídas, um PLC pode monitorizar e gravar dados de tarefas como por exemplo, a produtividade de uma máquina ou a sua temperatura, também pode ativar e parar processos, gerar alarmes em casos de avaria e é capaz de realizar muitas outras funções. Os Controladores Lógicos Programáveis são robustos, flexíveis e adaptam-se a muitas aplicações (Unitronics®, 2021).

De acordo com a Unitronics (Unitronics®, 2021), existem pontos chave que separam os autômatos (programáveis) de outros controladores usados na indústria, como por exemplo, computadores industriais e microcontroladores:

- **I/O:** o módulo CPU armazena e processa dados, mas são os módulos I/O (entradas e saídas) que conectam o PLC aos equipamentos. São estes módulos que fornecem informação ao CPU e acionam determinados resultados. As entradas e saídas podem ser digitais ou analógicas. Nos dispositivos de entrada estão incluídos sensores, *switches*, medidores, etc., enquanto que nos dispositivos de saída fazem parte relés, luzes, válvulas, entre outros.
- **Comunicações:** para além das ligações das entradas e das saídas, um autômato também precisa de se conectar a outros tipos de sistemas, por exemplo, pode existir a necessidade de exportar informação de um PLC para um sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que monitoriza vários dispositivos conectados numa rede. Os autômatos oferecem uma vasta gama de portas e protocolos de comunicação para assegurar que estes conseguem comunicar com outros PLC's e/ou outros dispositivos.
- **HMI:** de forma a interagir com um PLC em tempo real, os utilizadores precisam de uma HMI (*Human Machine Interface*). Estas interfaces de operações podem ser simples monitores com textos curtos e alguns botões, ou painéis tácteis largos mais complexos e com uma maior capacidade, mas em ambos os casos os utilizadores são capazes de ver e introduzir dados nos PLC's em tempo real.

3.2.2. Componentes básicos de um PLC

Os PLCs estão presentes no mercado em diferentes tamanhos e com diferentes níveis de capacidade (c3controls, ©2021). Embora não sejam todos iguais os componentes mais comuns são os seguintes:

- *Rack*;
- Fonte de alimentação;
- Secção I/O;
- CPU.

Rack: é o componente que mantém tudo junto e no lugar. Dependendo das necessidades do sistema, pode assumir vários tamanhos para suportar mais ou menos módulos. As estruturas dos *racks* são uma ajuda para a instalação de autômatos nos locais onde estes vão operar.

Fonte de alimentação: como o próprio nome indica, a fonte de alimentação é o que mantém o autômato a funcionar, fornecendo 24V DC ou 230V AC (ou 120V AC em algumas regiões do globo). Muitas fontes contêm baterias de reserva para prevenir perdas de dados em caso de falha de energia.

Secção I/O: o sistema de entradas e saídas de um PLC é o sistema que recolhe nova informação proveniente de fontes externas nas entradas e que origina resultados acionando saídas.

CPU (*Central Processing Unit*): executa o programa do PLC. Para além desta função, o CPU interliga-se com outros módulos e componentes. É no CPU que se encontra o microprocessador responsável por codificar e decodificar dados, a memória ROM que armazena programas de operação e parâmetros que não devem ser alterados, a memória RAM na qual pode ser lida e escrita informação que pode ser alterada (ex.: programa do utilizador) e é também onde se encontra a memória EAPROM (*Electrically Alterable Programmable Read-Only Memory*). A informação numa memória EAPROM não está sujeita a perdas em caso de falhas de energia. EAPROM é usada para gravar dados de utilizador sem a necessidade de fontes de energia externas.

3.2.3. Sistema operativo

O sistema operativo de um PLC inclui tarefas e programas projetados para correrem automaticamente, isto é, não precisam de comandos de utilizador diretos para funcionarem. Organiza todas as funções, sequências e operações do CPU desassociadas a uma tarefa de controlo específica (Unitronics®, 2021). As tarefas principais do sistema operativo são:

- Forçar reiniciações necessárias;
- Atualizar e atribuir estados de tabelas I/O;
- Executar o programa criado pelo utilizador;
- Gerir áreas de memória;
- Detetar e correr interrupções;
- Criar ligações com dispositivos programáveis.

3.2.4. Programação

A forma mais comum de programar ou modificar o programa de um PLC é por computador em conjunto com o *software* do fabricante da marca e de acordo com o modelo do autómato. Por norma, a transferência do projeto criado em computador para o PLC é via USB ou *Ethernet*. Existem diversas marcas de autómatos e por esta razão, existem também múltiplos *softwares* de programação de autómatos, tais como, CX-Programmer da Omron, SoMachine da Schneider Electric, Tia Portal da Siemens e Unity Pro XL também da Schneider. Todos estes programas oferecem uma interface gráfica com ferramentas para projetar código, alterar propriedades do autómato, estabelecer conexões ao próprio autómato, a outros autómatos ou a outros tipos de dispositivos.

Existem várias linguagens de programação de PLCs, sendo as seguintes linguagens as mais comuns (c3controls, ©2021):

- *Instructions Lists (IL)*;
- *Structured Text (ST)*;
- *Ladder diagrams (LD)*;
- *Sequential Function Chart (SFC)*;
- *Function Block Diagram (FBD)*;
- *Grafcet*.

A linguagem de programação de PLCs mais popular é *Ladder*. A lógica *Ladder* utiliza símbolos em vez de palavras para simular sistemas de controlo lógico reais. Estes símbolos estão interligados por linhas que indicam o fluxo de corrente que atravessa contactores e relés. Um programa completo representa um circuito elétrico virtual. As linhas da esquerda e da direita indicam a fonte positiva e a ligação à terra, respetivamente. As linhas horizontais representam as ligações entre os componentes. Na imagem seguinte, encontra-se um exemplo simples de um código em *Ladder*, onde é possível observar um contactor digital, I:1 (que pode representar um botão, ou o estado de um sensor), que ao ser ativado o circuito fecha e estabelece-se um fluxo até à saída, O:0, de forma que esta fique ativada.

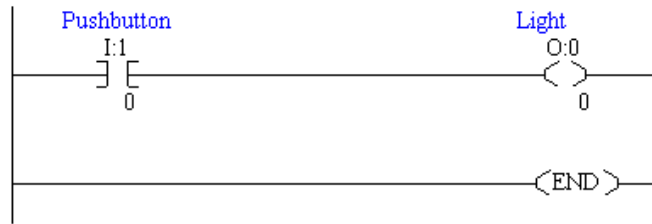


Figura 5 - Lógica *Ladder* (PLCdev, ©2021)

3.3. Realidade Aumentada

Segundo a Qualcomm Technologies (Qualcomm Technologies, ©2018), a Realidade Aumentada (*Augmented Reality - AR*) é uma das novas tecnologias que chama cada vez mais a atenção. Baseada em imagens e projeções geradas computacionalmente, AR é capaz de criar um ambiente que permite visualizar mais informação do que a que é apresentada na realidade, isto é, para além do que é real, é possível ver imagens, textos, vídeos, etc. virtuais, sobrepostos na imagem real através de monitores de dispositivos móveis ou óculos especiais de AR e VR (*Virtual Reality – Realidade Virtual*). Graças às melhorias consideráveis na qualidade e eficácia da interação máquina-humano, a utilidade desta tecnologia está a migrar de laboratórios e instituições académicas para diferentes tipos de indústrias e outros mercados de consumo.

3.3.1. Pontos fortes

Hoje em dia existem muitas áreas de aplicação da realidade aumentada, desde o campo da engenharia até às várias utilidades do dia-a-dia. Os pontos fortes desta tecnologia são os seguintes (Dini & Dalle Mura, 2015):

- Sistema imersivo. A informação está diretamente integrada no mundo real;
- Informação clara e legível. Os dados e as mensagens são facilmente interpretados pelo utilizador;
- Acesso fácil e direto à informação, dispensando informação em papel e até mesmo outros dispositivos e aplicações;
- Capacidade de integrar outros dispositivos no sistema, de forma a centralizar os dados;

- Maior eficiência dos tempos de operação. Os operadores para além de terem a informação dos equipamentos e processos toda concentrada na aplicação AR, também têm a vantagem de não necessitarem de se distraírem das operações ou tarefas que estejam a realizar pois a informação digital e o ambiente real estão no mesmo campo de visão.

3.3.2. Componentes

Os componentes de *hardware* essenciais para se realizar aplicações AR são os seguintes (Dini & Dalle Mura, 2015):

- **Sistema Computacional:** necessário para criar conteúdo virtual e gerir os diversos dispositivos. É também o responsável por determinar e atribuir a posição dos objetos virtuais no respetivo cenário, de acordo com os comandos do utilizador e com a informação proveniente do sistema.
- **Ecrãs:** existem três tipos de ecrãs que os utilizadores podem escolher. *Head Mounted Displays* (HMD), Figura 6, postos na cabeça ou no rosto, como por exemplo, óculos; *Hand Held Display* (HHD), Figura 7, ecrãs de dispositivos móveis como telemóveis e *tablets*; *Spatial Display* (SD), Figura 8, ecrãs capazes de projetar imagens 3D.
- **Dispositivos de gravação:** para sobrepor um ambiente real com dados digitais é necessário capturá-lo com câmeras fotográficas ou de filmar.
- **Dispositivos de tracking:** essencial para obter e registar a posição e orientação espacial do utilizador, de forma a alinhar corretamente a imagem virtual com a imagem real.



Figura 6 - HMD - Glass Enterprise Edition 2 (Google, 2013).



Figura 7 – Exemplo de um HHD. Tablet da Hyundai (Hyundai Motor Company, ©2021).



Figura 8 - Spatial Display da Sony (Sony Corporation, ©2021).

3.3.3. Aplicações AR

Todos os pontos mencionados em cima levaram a que fossem desenvolvidas inúmeras aplicações de realidade aumentada.

Analisando dados disponíveis (Dini & Dalle Mura, 2015), é possível constatar que a maior parte das aplicações podem ser encontradas nas tarefas de manutenção, reparação e inspeção e as áreas com o maior número de aplicações são aeroespacial, automóvel e industrial. Exemplos reais de aplicações AR surgem em diversos campos e para muitas finalidades distintas. As seguintes aplicações apresentadas são alguns desses exemplos.

Aeroporto Gatwick: aplicação do aeroporto Gatwick (Londres, Inglaterra), Figura 9, com a ajuda de mais de 2000 transmissores ao longo dos dois terminais, permite que os passageiros utilizem mapas de realidade aumentada nos seus dispositivos móveis para navegarem com facilidade dentro do aeroporto (vrfocus, n.d.).



Figura 9 - Assistente de navegação do aeroporto Gatwick com base em tecnologia AR (vrfocus).

Aplicação Ikea Place: para facilitar todos aqueles que pretendem mobiliar um espaço, a aplicação Ikea Place (Figura 10) descomplica essa tarefa ao fornecer ferramentas de *scan* para retirar medidas desse mesmo espaço e oferece ao utilizador a capacidade de escolher e equipar a área virtualmente e também a oportunidade de percorrer o espaço e observar essas mudanças em tempo real, através de um *smartphone* ou *tablet* (Inter IKEA Systems, 2021).



Figura 10 - Aplicação Ikea Place (Inter IKEA Systems, 2021).

Medivis Surgical AR: criada em 2016 a empresa combinou realidade aumentada com inteligência artificial para criar uma ferramenta que fornece representações 3D e detalhes da anatomia dos pacientes. Essa ferramenta designa-se de Medivis Surgical AR (Figura 11). É capaz de fazer mais do que as aplicações comuns existentes nos dias de hoje, destacando-se a capacidade de trazer para o mundo real, modelos virtuais de três dimensões e dados do ramo médico com o objetivo de melhorar e ajudar os profissionais de saúde em intervenções cirúrgicas (Medivis, ©2020).



Figura 11 - Aplicações AR para fins cirúrgicos (Medivis, ©2020).

3.3.4. Realidade aumentada na manutenção e reparação

As atividades de manutenção e reparação apresentam um grande número de aplicações AR, usando diversos componentes de *hardware* e vários métodos de sobreposição (Dini & Dalle Mura, 2015). Os resultados obtidos até hoje reforçam as críticas positivas sobre a necessidade e eficácia destas aplicações e demonstram como as atividades mencionadas suportam bem esta tecnologia.

Durante a manutenção, a grande maioria das tarefas são melhoradas e realizadas mais rapidamente com a intervenção da realidade aumentada. A informação direta e quase ilimitada, permite que os operadores realizem as suas funções sem terem que desviar a sua atenção ou perderem tempo a procurar em arquivos ou em múltiplos dispositivos. Os dados apresentados aos utilizadores podem ir desde alarmes e simples variáveis até *datasheets* e guias completos de assistência operacional. Os objetos virtuais sobrepostos na realidade tomam variados formatos como imagens, vídeos, sons, modelos 3D, etc. Estes objetos ajudam o operador a visualizar melhor os processos e os equipamentos, como também tornam certas tarefas mais seguras. A verificação de falhas em quadros elétricos ou em transformadores é um exemplo da segurança adicional conseguida com a Realidade Aumentada, pois esta tecnologia permite que o operador visualize o interior destes equipamentos abrindo-os virtualmente evitando assim, a exposição aos riscos do ambiente real. O acompanhamento da realidade aumentada, em tempo real, nas operações realizadas durante a manutenção e reparação juntamente com a inteligência artificial contribuem bastante para a diminuição de eventuais erros e acidentes que podem acontecer. O *software* Augmented Operator Advisor é uma das ferramentas que permite fazer esse acompanhamento (Schneider Electric, 2020).

3.4. Software

Ao longo do estágio houve necessidade de recorrer a diferentes tipos de *software* que serviram de suporte e de ferramentas essenciais para realizar as tarefas que foram propostas. A apresentação e os detalhes dos programas principais utilizados para executar e concluir essas tarefas são destacados nesta secção.

3.4.1. Augmented Operator Advisor

O *Augmented Operator Advisor* (AOA) da família EcoStruxure da Schneider Electric, é um *software* que recorre à realidade aumentada para otimizar operações e manutenções de espaços, sistemas e equipamentos industriais.

Este *software* é caracterizado pela sua utilização simples, mas com grande potencial. Os operadores apenas têm de apontar o *tablet* ou *smartphone* para o equipamento ou processo em que pretendem realizar as tarefas de manutenção ou reparação e visualizar os dados devolvidos pela aplicação. O AOA usa técnicas especiais de comparação de imagens para determinar uma correspondência entre um cenário visível em tempo real, capturado pela câmara do dispositivo móvel, com fotografias desse mesmo cenário previamente armazenadas. Quando essa correspondência existe, a informação sobre esse cenário surge no ecrã do dispositivo HHD usado e o utilizador pode seleccionar e analisar os dados que são do seu interesse para a tarefa que está a realizar.

Existe uma grande variedade de tipos de informação, (Schneider Electric, 2020), incluindo:

- Variáveis de processos;
- Valores extraídos de uma base de dados SQL;
- Documentos: *datasheets*, esquemas eléctricos, manuais, etc.;
- Páginas *web*;
- Vídeos;
- Áudios;
- Procedimentos;
- Notas.

Algumas palavras-chave ajudam a compreender o funcionamento e as metodologias deste *software*, (Schneider Electric, 2020) tais como:

- **Área:** zona dentro de cada local ou edifício (como por exemplo, linhas de montagem, divisões e terrenos);
- **Cenário:** ambientes, dentro das áreas definidas, que contém tudo o que se pretende monitorizar (quadros elétricos, máquinas, equipamentos e pequenas linhas de produção);
- **Subcenários:** partes específicas dos cenários e de menor dimensão e por norma contêm informação mais detalhada (quadros elétricos, detalhes de componentes de uma máquina, etc.);
- **Projeto:** programa que contém toda informação das áreas, dos cenários e SUB cenários e dos procedimentos;
- **Procedimentos:** conjunto de instruções que os operadores devem seguir.

3.4.1.1. Divisão de componentes

Para facilitar as diferentes fases da criação e implementação de um projeto AR, o *Augmented Operator Advisor* divide-se em três componentes principais, (Schneider Electric, 2020):

- **Augmented Operator Advisor Builder:** usado na fase de criação do projeto;
- **Augmented Operator Advisor Runtime:** contém o projeto final e é responsável por interligar os dispositivos, que fornecem as variáveis, com a aplicação móvel;
- **Augmented Operator Advisor App:** Apresenta tudo o que o projeto contém sobrepondo informação no ambiente real captado pelo *tablet/smartphone*.

3.4.1.2. Arquitetura do sistema AOA

O conjunto dos elementos do software AOA e todos os componentes do sistema de automação são implementados de acordo com a arquitetura apresentada na Figura 12.

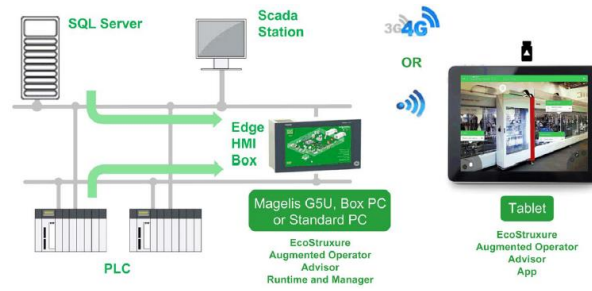


Figura 12 - Organização dos diversos componentes do AOA (Schneider Electric, 2020).

A aplicação móvel instalada num *tablet* ou *smartphone* recebe constantemente dados provenientes de um computador comum (ou outra tecnologia compatível com este *software* tais como, computadores industriais ou uma *Open Box*) onde está instalado o AOA Runtime. Esse mesmo dispositivo e o dispositivo móvel que contém a aplicação têm de estar ligados à mesma rede para que seja possível estabelecerem uma comunicação (Schneider Electric, 2020).

A informação enviada para o AOA Runtime consiste nos valores das variáveis processados pelos equipamentos monitorizados e/ou nos valores que estão presentes em bases de dados remotas. Os equipamentos podem ser, por exemplo, autómatos. O utilizador que desenvolve o projeto tem de escolher uma das duas aplicações (Node-Red ou EcoStruxure Operator Terminal Expert (Pro-face)) que servem de ponte entre dispositivos de campo e o servidor AOA.

Na Figura 13 apresenta-se um diagrama que contém uma síntese das operações que se realizam no AOA Builder, no AOA Runtime e no AOA App. Detalhes destas operações serão apresentadas neste relatório em secções mais avançadas.

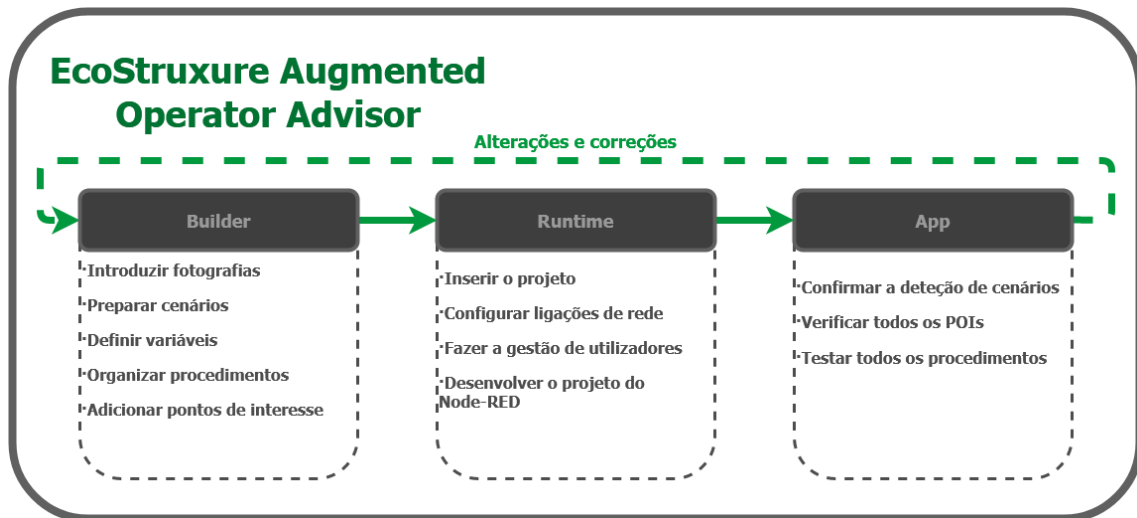


Figura 13 - Operações a realizar em cada componente do AOA.

3.4.1.3. Augmented Operator Advisor Builder

O Augmented Operator Advisor Builder é uma aplicação *web* que pode correr em determinados *browsers*. Este *software* é usado para organizar e estruturar áreas, cenários e toda a informação contida num projeto (Schneider Electric, 2020) . É também usado para definir e configurar pontos de interesse, procedimentos e eventos. Após a finalização do projeto, este deve ser compilado e transferido para o dispositivo que contém o AOA Runtime. Para desenvolver um projeto são configurados os diversos elementos que o compõem. A interface gráfica desta aplicação pode ser observada na Figura 14.

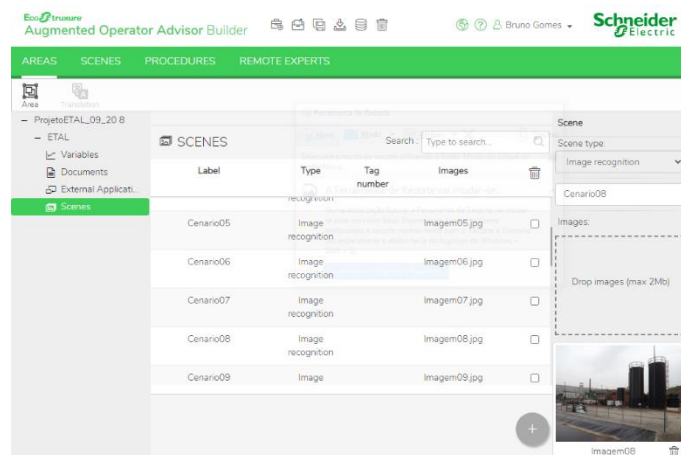


Figura 14 - Interface gráfica do AOA Builder.

Estrutura: é constituída por áreas, cenários e procedimentos. Cada projeto pode ter uma ou mais áreas, dentro de cada área podem existir múltiplos cenários, e os procedimentos são opcionais. Uma boa estrutura leva a uma boa organização do resultado final e aumenta o desempenho do desenvolvimento (Schneider Electric, 2020).

Pontos de interesse (POI – *Point of Interest*): são objetos posicionados num cenário que oferecem dados técnicos ou informações adicionais que melhoram a interação com o utilizador. Os POIs podem ser colocados em qualquer parte do cenário. Vários tipos de pontos de interesse podem ser adicionados, incluindo imagens, variáveis, aplicações externas e documentos úteis em operações de manutenção como manuais de instrução, desenhos técnicos, plantas, *datasheets*, etc. O *software* AOA Builder permite introduzir os seguintes tipos de POI (Schneider Electric, 2020):

- Textos;
- Imagens;
- Variáveis;
- Listas;
- Documentos;
- Aplicações externas;
- Procedimentos.

Todos estes pontos de interesse são reconhecidos e apresentados automaticamente no AOA App quando o operador aponta o tablet para o cenário correto.

Variáveis: ao adicionar uma variável como ponto de interesse no AOA Builder, este POI é substituído pelo valor real, e atualizado, da variável no AOA App quando o utilizador observa o resultado desta aplicação de realidade aumentada num *tablet*. Os valores provêm de outros dispositivos ou de bases de dados e existem duas formas de serem adquiridos, através do EcoStruxure Operator Terminal Expert (Pro-face BLUE) ou do Node-RED (Schneider Electric, 2020).

Documentos: são adicionados em pontos específicos dos cenários em forma de pontos de interesse, mas também é possível anexar documentos a áreas e a cenários para que estes estejam disponíveis nestas zonas sem a necessidade de os associar a POIs. Os documentos podem ser transferidos diretamente para o *tablet* para melhorar o desempenho da aplicação, ou são apenas introduzidos no AOA Builder (e posteriormente no AOA Runtime) e cada vez

que os utilizadores acederem a esses POIs no AOA App os documentos são transferidos e no final são eliminados tendo a vantagem de não ocupar espaço de memória. Os variados tipos de documentos que podem ser adicionados foram mencionados em pontos anteriores (Schneider Electric, 2020).

Aplicações externas: aparecem como pontos de interesse quando o utilizador vê um cenário no *tablet*. Uma aplicação externa é executada quando o utilizador carrega no respetivo POI. As aplicações podem ser *emails*, programas de documentos como Word e Excel, Google Maps, *softwares* de supervisão, etc.

Listas: para não sobrecarregar um cenário com múltiplos pontos de interesse, adicionam-se listas. As Listas permitem agrupar vários objetos num único ponto de interesse. Todos esses objetos só são visíveis se o utilizador assim o desejar, desta forma o cenário real é pouco coberto por objetos virtuais. As Listas têm ainda a vantagem de se poderem adicionar procedimentos que de outra forma não era possível de os introduzir num cenário. Uma lista pode conter (Schneider Electric, 2020):

- Textos;
- Documentos;
- Aplicações externas;
- Procedimentos;
- Variáveis.

Imagens: podem ser importadas para os cenários e ser alteradas e, são visíveis na aplicação. Estes pontos de interesse são bastante uteis para ajudar os operadores a visualizarem melhor os processos ou por exemplo receberem a indicação do fluxo de um sistema através de imagens de setas (Schneider Electric, 2020).

Evento: é uma ação específica que ocorre quando uma ou mais condições de ativação estão reunidas. Uma condição de ativação compara o valor atual de uma variável com um valor específico ou com outra variável; se existir uma correspondência o evento associado é ativado. As possíveis ações dos eventos, presentes no AOA Builder são mudar a visibilidade, editar texto, editar a cor de texto, mudar a cor de fundo, piscar e fazer parar de piscar POIs (Schneider Electric, 2020).

Procedimentos: aplicações de realidade aumentada fornecem inúmeras vantagens na manutenção e reparação devido às suas diversas funcionalidades. Um procedimento é mais uma funcionalidade que ajuda diretamente os operadores da área de manutenção e reparação. Esta utilidade está incluída no AOA Builder. Um procedimento descreve os passos necessários para a realização de uma tarefa e indica a ordem de execução desses mesmos passos. Os procedimentos devem ser usados em conjunto com os cenários e subcenários existentes ou com outros novos e com os pontos de interesse adequados aos procedimentos (Schneider Electric, 2020).

Compilação e conclusão de um projeto do AOA Builder: quando todos os cenários estão definidos, o projeto pode ser concluído. Depois de concluído o projeto é guardado na nuvem ou localmente. Os ficheiros devem ser transferidos para o dispositivo no qual está instalado o AOA Runtime. Todos os cenários e os seus componentes, incluindo imagens, documentos, procedimentos, etc. estão presentes nesses ficheiros. Nesta fase o projeto pode ser testado no AOA App.

3.4.1.4. Augmented Operator Advisor Runtime

O *software* Augmented Operator Advisor Runtime junta toda a informação criada no AOA Builder (cenários, pontos de interesse, procedimentos, etc.) e envia-a para o AOA App para ser apresentada. Neste *software* está ainda incluído o AOA Manager que permite criar e modificar utilizadores e níveis de permissões (Schneider Electric, 2020). Existem alguns pré-requisitos que devem ser considerados antes de instalar o AOA Runtime:

- Proteger o acesso físico ao dispositivo que irá conter o AOA Runtime mantendo-o seguro dentro de um espaço fechado com acesso limitado;
- AOA Runtime deve ser instalado por alguém com permissões de administrador;
- Apenas alguns utilizadores estão autorizados a aceder ao projeto. Restrições de acesso à pasta do ficheiro devem ser implementadas.

Augmented Operator Advisor Manager: é instalado quando o Augmented Operator Advisor Runtime é instalado. Utilizar o AOA Manager permite gerir credenciais de utilizadores, ver uma lista de todos os procedimentos concluídos e ver todas as notas deixadas pelos operadores no AOA App.

Existem três tipos de utilizadores do Augmented Operator Advisor, (Schneider Electric, 2020):

- *Builder*;
- *Runtime Manager/Administrator*;
- *Operator*.

Os utilizadores do tipo *Builder* são os que têm acesso ao AOA Builder.

Os do tipo *Runtime/Manager administrator* são os responsáveis por configurar dados de utilizadores e dados de segurança. Estes utilizadores devem ter o maior nível de permissões, (Schneider Electric, 2020).

Os utilizadores do tipo *Operator* são aqueles que irão usar a aplicação AOA App. Estes utilizadores podem ter diferentes níveis de segurança e com base nesses níveis, os utilizadores têm acesso a diferentes objetos no AOA App. Os níveis de segurança associados a objetos são definidos no AOA Builder. Objetos com um certo valor de nível de segurança só podem ser acedidos por utilizadores com um nível igual ou superior.

Notas: Os operadores podem criar as suas próprias notas e colocá-las nos cenários enquanto utilizam a aplicação no *tablet*. A informação introduzida pelos operadores nas notas pode ser usada por outros operadores que venham a trabalhar no mesmo cenário. Todas as notas podem ser consultadas pelos administradores autorizados a aceder ao AOA Manager. Existe uma janela no AOA Manager com uma lista de todas as notas criadas (Schneider Electric, 2020).

Procedimentos: No AOA Manager existe uma janela com todos os procedimentos realizados pelos operadores no AOA App. É possível observar o nome e a versão do procedimento, assim como também é possível ver o dia e a hora em que o procedimento foi concluído, os passos realizados e o nome de quem concluiu a tarefa, (Schneider Electric, 2020).

Node-RED: No dispositivo onde está hospedado o *Runtime* deve ser instalado a plataforma Node-RED. No contexto do *software* Augmented Operator Advisor, o Node-RED permite extrair informação dos equipamentos do nível de campo de uma instalação industrial e transferir essa mesma informação (ou resultados da informação processada) para o servidor AOA, (Schneider Electric, 2020).

3.4.1.5. Augmented Operator Advisor App

Augmented Operator Advisor App é uma aplicação que vê a realidade (tudo aquilo que o operador vê através da câmera integrada no *tablet/smartphone*) e compara-a com fotografias de cenários armazenados no projeto AOA (Schneider Electric, 2020). As imagens captadas pela câmera e as fotografias guardadas devem corresponder para que surjam pontos de interesse e controlos de interface no ecrã (tal como se pode observar na Figura 15). O *tablet/smartphone* e o dispositivo do AOA Runtime têm de estar ligados à mesma rede para que tudo funcione corretamente, (Schneider Electric, 2020).

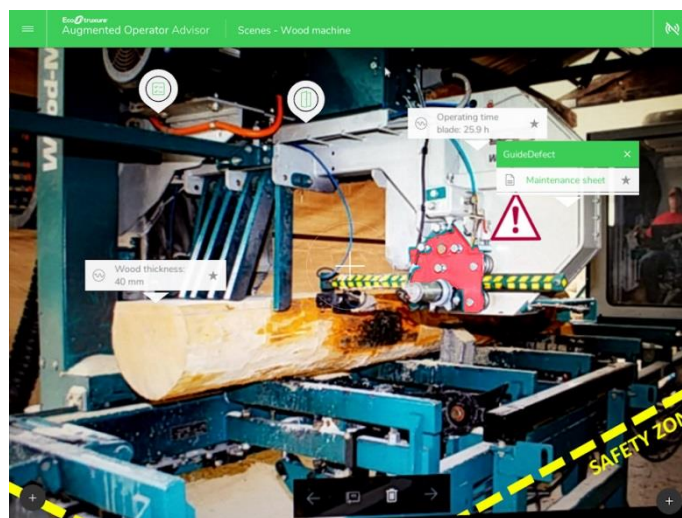


Figura 15 - Augmented Operator Advisor App (Schneider Electric, 2020).

3.4.1.6. Node-RED

Node-RED é uma ferramenta de programação para interligar vários dispositivos, APIs (*Application Programming Interfaces*, IPA – Interface de Programação de Aplicações) e serviços *online*. Fornece um editor de acesso fácil num *browser* facilitando assim, a criação de fluxos e a ligação de uma grande variedade de blocos reutilizáveis designados de nós. Juntamente com o AOA, esta ferramenta pode ser usada para complementar os eventos que são possíveis de criar no AOA Builder e para fazer a ponte entre os dispositivos e o AOA Runtime que consequentemente envia a informação para a aplicação AOA App. Por esta razão o Node-RED deve ser instalado no mesmo dispositivo onde está instalado o AOA Runtime (OpenJS Foundation).

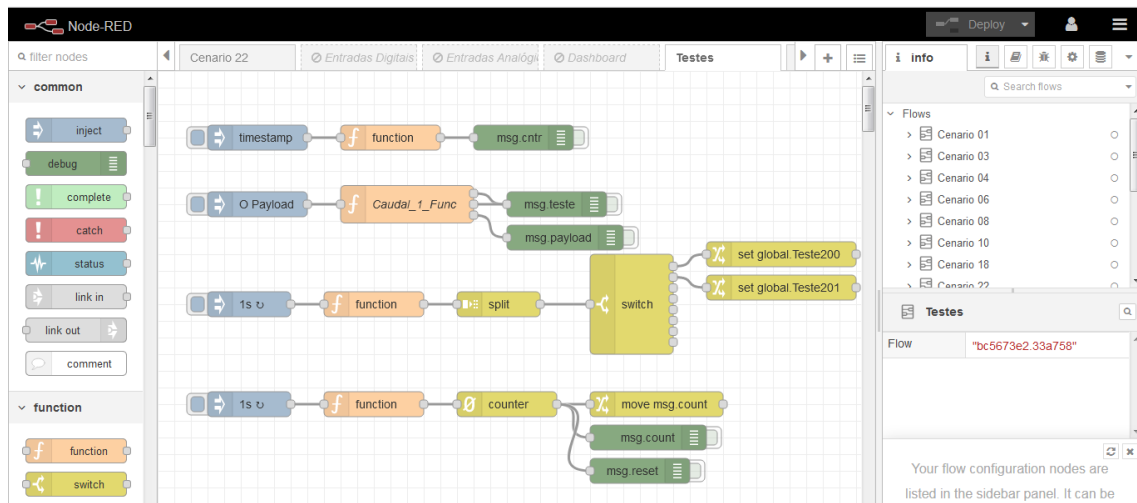


Figura 16 - Interface gráfica do Node-RED.

3.4.2. CX-Programmer

O *software* da OMRON, CX-Programmer, é uma ferramenta digital para criar, testar e fazer a manutenção de programas associados aos PLCs das séries CS1, CV e C. Esta ferramenta fornece uma funcionalidade de suporte de informação de PLCs e de endereços e fornece ajuda para comunicações com outros PLCs da OMRON e com as tipologias de rede suportadas. (OMRON, ©2001).

As características mais relevantes deste *software* são:

- Divisão de programas em secções. Esta divisão permite que programas muito extensos sejam geridos facilmente;
- Facilidade de pesquisa e de edição de programas;
- A monitorização pode ser colocada em pausa ou ser congelada para examinar a lógica de um programa;
- Capacidade de importar e exportar símbolos (variáveis) para folhas Excel ou editores de texto;
- Suporte para novos PLCs de outras famílias para além das que já foram mencionadas;
- Flash ROM *backup*. Permite criar *backups* em Flash ROMs.

Quando o CX-Programmer é iniciado, a seguinte janela é apresentada ao utilizador.

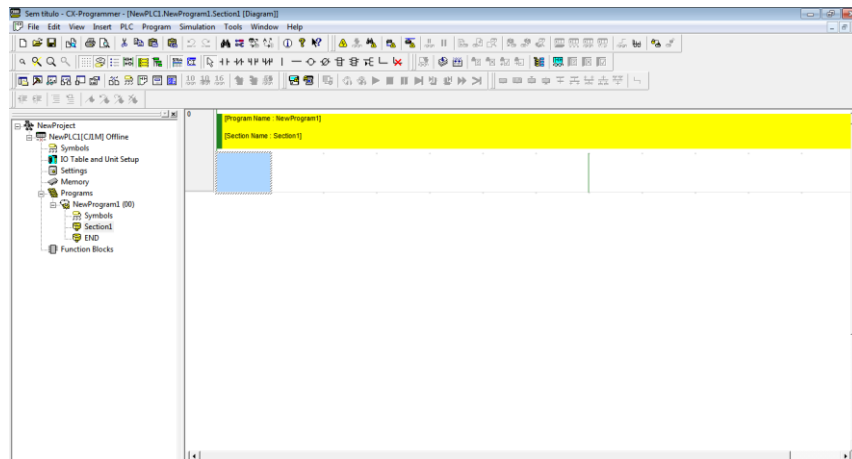


Figura 17 - Janela inicial do CX-Programmer.

O CX-Programmer oferece facilidade em criar um ficheiro de projeto onde podem ser incluídos os PLCs necessários sem limites de quantidade. Para cada PLC podem ser definidos, programas *Ladder*, detalhes de endereçamento e de rede, memória PLC pré-definida, tabelas I/O, instruções expansíveis e variáveis.

A tabela I/O permite que o mapa de *racks* e unidades necessárias para os programas PLC sejam editados. Todo o *hardware* no *rack* do PLC deve ser inserido nesta tabela (exemplo na Figura 18) indicando o modelo correto de cada componente.

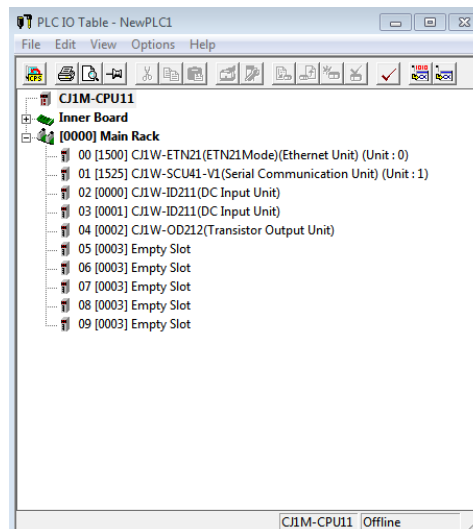


Figura 18 - Tabela I/O de um projeto no CX-Programmer.

A tabela I/O também permite comparar o mapa desejado com o mapa de componentes que realmente estão ligados ao PLC. Depois da introdução de componentes na tabela, os endereços afetados ganham um prefixo visível no editor do programa. Endereços associados a unidades de entrada têm o prefixo "I" e os endereços associados a unidades de saída têm o prefixo "Q".

Podem ser atribuídos nomes simbólicos ou comentários aos endereços do PLC que são usados como operadores no programa com o objetivo de terem uma referência durante a programação. Um endereço com esta atribuição é conhecido como símbolo (OMRON, ©2001).

Existe uma tabela de símbolos (como se pode observar na Figura 19) em cada projeto no CX-Programmer. Trata-se de uma tabela editável que contém o endereço, o nome e o comentário de cada símbolo. Esta tabela também fornece informação sobre a localização *rack* e o tipo de uso. Se o endereço está dentro da gama de endereços da tabela I/O do PLC, é indicado se o tipo de uso é *input*, *output* ou do tipo *work* (OMRON, ©2001).

4. Projeto da Estação Elevatória de Estanque

A programação de autômatos utilizados na implementação de um sistema de automação na estação elevatória de estanque foi uma das primeiras tarefas atribuídas no estágio realizado.

4.1. Dispositivos - CPU e Módulos

O sistema PLC escolhido que satisfaz as necessidades do processo em causa é composto por um autômato da OMRON e pelos módulos, também da OMRON porque estes satisfazem as necessidades das tarefas das operações que este sistema tem de realizar.

CPU: CJ1M-CPU11



Figura 21 - CPU, CJ1M-CPU11 (OMRON, 2020).

Este PLC (Figura 21) é muito compacto e tem um desempenho de controlo de alta velocidade que permite processar cálculos de vírgula flutuante em $13,3\mu\text{s}$ e oferece ainda a possibilidade de introduzir cartões de memória até 128MB. (OMRON, 2018).

Ethernet: CJ1W-ETN21



Figura 22 - Módulo *Ethernet*, CJ1W-ETN21 (OMRON, 2021).

Este sistema usa *Ethernet* para implementar vários protocolos de comunicação. Faz uso de um relógio num servidor SNTP (*Simple Network Time Protocol*) para ajustar automaticamente os relógios dos PLCs conectados à rede *Ethernet*. Um servidor FTP já está incluído para que os ficheiros possam ser usados para transferir dados de PLCs entre si ou com outros tipos de estações presentes na rede com um cliente FTP. (OMRON, 2021). Na Figura 22 observa-se uma fotografia deste módulo.

Comunicação: CJ1W-SCU41-V1



Figura 23 - Módulo de comunicação, CJ1W-SCU41-V1 (OMRON, 2021).

Cada unidade de comunicação (Figura 23) contém duas portas de comunicação série, uma RS-232C e uma RS-422A/485 e o modo de comunicação série pode ser definido separadamente para cada porta desde Protocol Macro, Host Link, NT Link, Serial Gateway e sem protocolo. (OMRON, 2010).

Entradas digitais (2x): CJ1W-ID211



Figura 24 - Módulo de entradas digitais, CJ1W-ID211 (OMRON, 2021).

Foram utilizadas duas cartas deste modelo (Figura 24) que recebem sinais digitais (ON/OFF) de dispositivos externos para o sistema PLC com o objetivo de introduzir informação na memória I/O na unidade CPU. Nestas unidades estão presentes, em cada uma delas, 16 entradas de 24V DC (OMRON, 2019).

Saídas Digitais: CJ1W-OD212



Figura 25 - Módulo de saídas digitais, CJ1W-OD212 (OMRON, 2021).

Esta unidade de saídas digitais (Figura 25) recebe os resultados de instruções de saída provenientes do CPU e atua como um controlo ON/OFF de dispositivos externos. É constituída por 16 saídas digitais de 24V (OMRON, 2019).

4.2. Programação

Após a obtenção do conhecimento sobre o processo que se pretende modificar e da definição do modelo do autómato e dos periféricos que iriam ser utilizados, procedeu-se para a programação desse mesmo autómato. Uma vez que o PLC escolhido foi desenvolvido pela OMRON, o software de programação deste PLC também pertence à OMRON. Dado o modelo do CPU, o software suportado por este sistema é o CX-Programmer.

Depois de se iniciar este programa, criou-se um novo projeto e procedeu-se às configurações normais e essenciais na programação de autómatos. Essas configurações passam por definir no programa, o CPU do PLC utilizado e adicionar à tabela I/O (Figura 26), todas as unidades que já foram aqui referidas na secção 4.1.

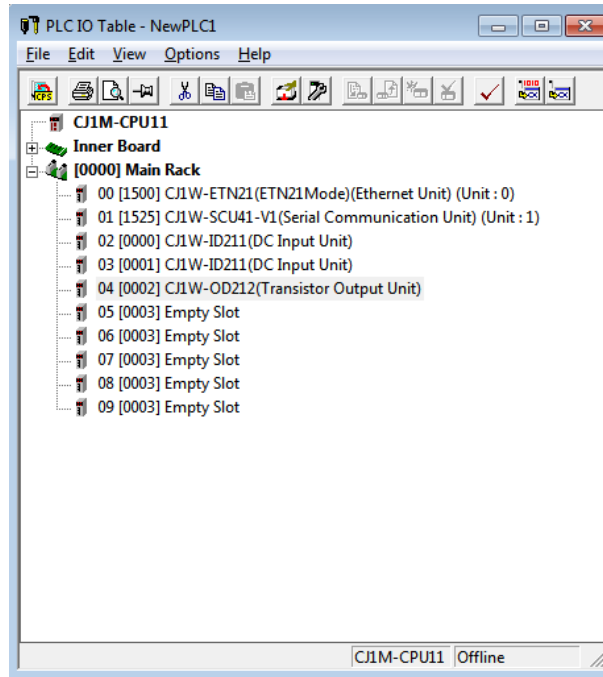


Figura 26 - Adição das unidades à tabela I/O.

Seguindo sempre as informações técnicas do processo, introduziu-se, no sector “symbols” do CX-Programmer as variáveis necessárias. Declarou-se cada uma dessas variáveis com nomes e tipos de dados adequados. Todas estas variáveis estão associadas às entradas e saídas das cartas do autómato e ao longo do processo de programação foram introduzidas outras variáveis. Os detalhes das variáveis declaradas estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de variáveis declaradas no programa.

Nome	Tipo	Endereço	Comentário
Estanq_Rff230V	BOOL	0.00	Falta de 230V AC
Estanq_IDGrS	BOOL	0.01	Disparo Interruptor Diferencial Grupos
Estanq_Rff24vdc	BOOL	0.02	Falta de 24V DC
Estanq_AutPLC	BOOL	0.03	Automático pelo autómato
Estanq_NvMbx	BOOL	0.04	Nível de Paragem
Estanq_NvArr1	BOOL	0.05	Nível de Arranque 1
Estanq_NvArr2	BOOL	0.06	Nível de Arranque 2
Estanq_NvMal	BOOL	0.07	Nível de Alarme
Estanq_AutGr1	BOOL	0.08	Grupo 1 em Automático
Estanq_MarchaGr1	BOOL	0.09	Grupo 1 em Funcionamento
Estanq_AvaGr1	BOOL	0.10	Grupo 1 em Avaria
Estanq_AutGr2	BOOL	0.11	Grupo 2 em Automático
Estanq_MarchaGr2	BOOL	0.12	Grupo 2 em Funcionamento
Estanq_AvaGr2	BOOL	0.13	Grupo 2 em Avaria
Estanq_AutVE	BOOL	0.14	Ventilador em Automático
Estanq_MarchaVE	BOOL	0.15	Ventilador em Funcionamento
Estanq_TermicoVE	BOOL	1.00	Ventilador em Disparo Térmico
Estanq_DispidVE	BOOL	1.01	Interruptor Diferencial Ventilador
Estanq_AutAgit	BOOL	1.02	Agitador em Automático
Estanq_MarchaAgit	BOOL	1.03	Agitador em Funcionamento
Estanq_TermicoAgit	BOOL	1.04	Agitador em Disparo Térmico
Estanq_DispidAgit	BOOL	1.05	Interruptor Diferencial Agitador
Estanq_PTCAgit	BOOL	1.06	Sonda PTC Agitador
Estanq_HumAgit	BOOL	1.07	Sonda Humidade Agitador
Estanq_Akn	BOOL	1.08	Aceitação de Avarias
Estanq_TestLamp	BOOL	1.09	Teste de Lâmpadas
Estanq_OMGr1	BOOL	2.00	Ordem de Marcha Grupo 1
Estanq_OMGr2	BOOL	2.01	Ordem de Marcha Grupo 2
Estanq_OMVE	BOOL	2.02	Ordem de Marcha Ventilador
Estanq_OMAgit	BOOL	2.03	Ordem de Marcha Agitador

Este projeto é constituído por um programa em linguagem *Ladder* dividido em nove secções. Na Figura 27 é possível ver todas as secções que foram adicionadas ao programa. (O conteúdo dessas secções encontra-se no anexo A).

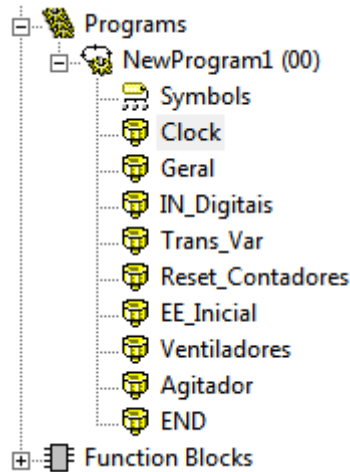


Figura 27 - Programa e secções que o dividem.

O funcionamento das secções apresentadas é descrito com detalhe nos parágrafos seguintes.

Clock: tem a função de adquirir as horas, os minutos e os segundos do relógio interno do autómato. Para desenvolver esta função recorreu-se ao manual do autómato para saber os endereços que contêm os dados do relógio interno e recorreu-se à instrução *MOVD* para extrair esses dados para outros endereços mais adequados à utilização de *words* em diversas partes do programa. O resultado final são duas *words* na zona de memória D (*Data Memory Area*), que contém o tempo no formato hh:mm que será usado para diversas operações mais adiante no programa e (por boa prática) os segundos também são guardados, mas pertencem a outra *word* diferente da que contém as horas e os minutos. O esquema seguinte ilustra o funcionamento desta secção.

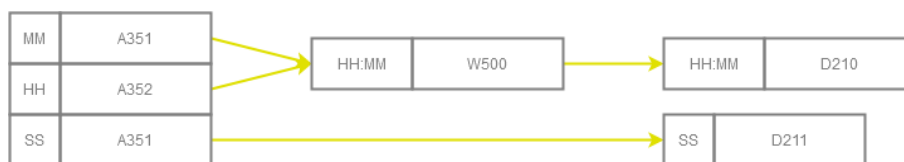


Figura 28 - Diagrama da secção Clock.

Geral: esta secção serve para fazer o reconhecimento de avarias após uma falha de energia. A entrada digital (Estanq_Rff230V) que corresponde à falta de tensão de 230V está no modo *pull-up*, ou seja, em circuito aberto o seu estado é 1 e em circuito fechado é 0. Com recurso a instruções como “Timer” e “Set/Reset”, desenvolveu-se o código *Ladder* que segue a seguinte lógica. Quando a entrada Estanq_Rff230V passa ao estado 1, isto é, há falha de energia, o contacto negado W0.02 é ativado e inicia-se um temporizador de 2,5 segundos. Após 2,5 segundos um sinal de estado alto é enviado para a saída W0.01 que corresponde ao indicador de falha de energia. O bit W0.02 é apenas um bit de controlo. Diagrama desta secção está presente na Figura 29.

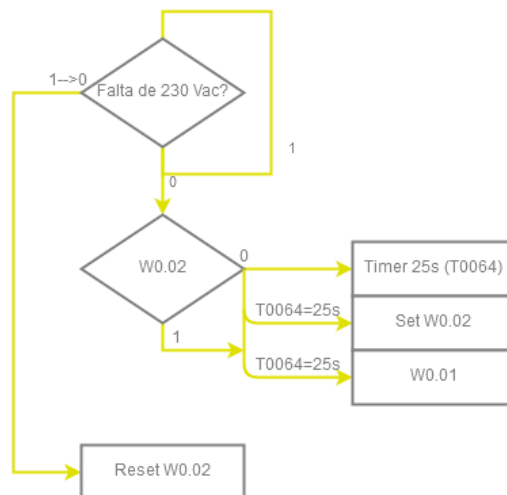


Figura 29 - Diagrama da secção Geral.

IN_Digitais: tem o propósito de armazenar o estado das entradas digitais em endereços de memória da zona W (*Work Area*) – uma zona mais adequada para trabalhar os bits dentro do programa. É também nesta secção que os mesmos estados das entradas digitais são guardados na zona H (*Holding Area*) que é uma zona de memória que mantém os estados dos bits mesmo quando o PLC é desligado. Estes bits na zona H são essenciais para enviar dados para a supervisão.



Figura 30 - Diagrama da secção IN_Digitais.

Trans_Var: os dados que são enviados para o *software* SCADA e os dados recebidos provenientes desse mesmo *software* estão presentes nos bits da zona H, mas o estado desses bits é utilizado pelo programa na zona W. Para transferir esses estados de uma zona para a outra foram inseridas duas instruções “XFER”, uma da zona H para a zona W e outra no sentido inverso (ver Figura 31). A configuração destas instruções passa por usar os endereços de memória introduzidos na secção anterior e definir o número de *words* que se pretende enviar/receber. O *software* SCADA utilizado neste caso foi o Vijeo Citect.

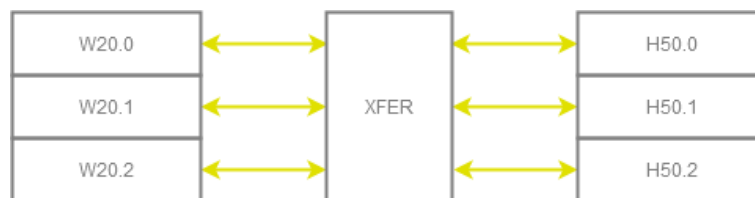


Figura 31 - Diagrama da secção Trans_Var.

Reset_Contadores: esta secção é responsável pelo *reset* de algumas operações como por exemplo a totalização de caudais que usa o bloco de função “Totalizador_Caudal” que irá ser necessário no sistema e é responsável pela soma dos caudais medidos diariamente. Esses totalizadores são reiniciados diariamente. Para que isso ocorra foram introduzidos dois blocos de comparação que comparam o valor da variável que foi criada no “Clock”, HH:MM, com um intervalo definido. Neste caso, entre as 23:57 e as 23:59 o bit W91.00 fica

no estado alto e os valores dos caudais diários voltam a zero, tal como é demonstrado no diagrama da Figura 32.

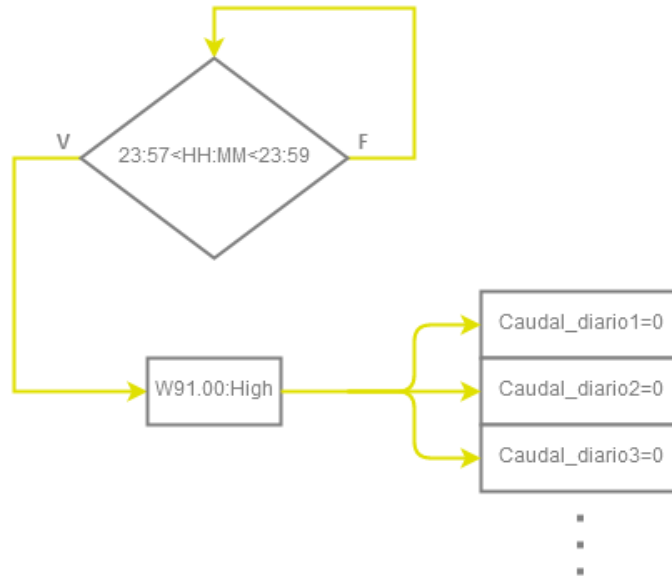


Figura 32 - Diagrama da secção Reset_Contadores.

EE_Inicial: nesta secção fez-se a preparação da verificação de avarias, a deteção de falhas de arranque, o arranque dos grupos, a alternância, o tempo de funcionamento de cada grupo e o modo manual, também, de cada um dos grupos.

Antes de se iniciar a operação dos grupos de bombas é necessário verificar eventuais avarias e falhas de energia. O código *Ladder* desenvolvido para esta secção começa com o *scan* das entradas digitais associadas às falhas de energia, Estanq_Rff230V, Estanq_IDGrS, Estanq_Rff24vdc, que correspondem, respetivamente, à falta de 230V, ao disparo do interruptor diferencial de grupos e à falta de 24V. Na figura seguinte encontra-se o digrama que representa a secção EE_Inicial.

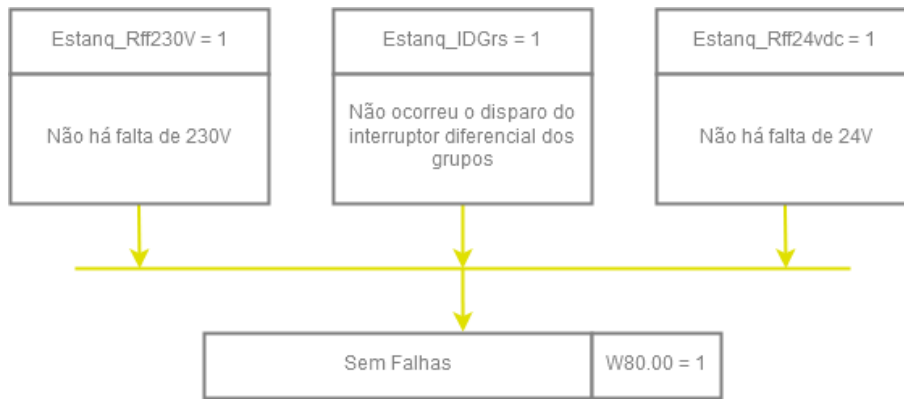


Figura 33 - Diagrama da verificação de falhas de energia.

As falhas de arranque dos grupos são detetadas através da seguinte condição: se for dada a ordem de marcha de um grupo (Estanq_OMGr1/Estanq_OMGr1) e o grupo não entrar em funcionamento (Estanq_MarchaGr1/ Estanq_MarchaGr2), é feito um SET (colocar um bit em estado alto até que seja ordenado o contrário com um comando de RESET) de um bit que indica que ocorreu uma falha no arranque. Esse mesmo bit vai condicionar o arranque do grupo (ver Figura 34).

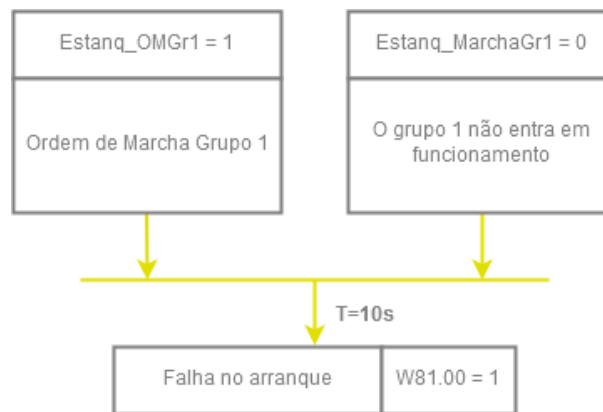


Figura 34 - Diagrama da detecção de falhas de arranque dos grupos.

Após a verificação de falhas e avarias foi criado e inserido um bloco de função responsável pela alternância de grupos. Esta alternância ocorre quando se atinge o nível de paragem, (Estanq_NvMbx). Quando isso acontece o grupo que entra em funcionamento é alterado conforme a disponibilidade dos grupos.

Foi criado também um bloco de função para o controlo relacionado com as boias dos quatro níveis, nível de paragem (Estanq_NvMbx), nível de arranque 1 (Estanq_NvArr1), nível de arranque 2 (Estanq_NvArr2) e nível de alarme (Estanq_NvMal). Este bloco comanda quais os grupos que devem entrar em funcionamento ou parar, como é possível ver na Figura 35. A relação entre os diferentes níveis e as ordens de marcha é a seguinte:

- Perante o nível de arranque 1, apenas o grupo 1 entra em funcionamento;
- No nível de arranque 2 é dado o comando de marcha do grupo 2 depois de um intervalo de oito segundos;
- Se as bóias não indicarem nem o nível de arranque 1 nem o nível de arranque 2, é enviado um comando para parar o grupo 2;
- O nível de alarme leva a que o grupo 1 e a indicação de alarme sejam activados. Ao fim de dez segundos o grupo 2 arranca automaticamente;
- Se o sistema já não estiver no nível de alarme nem no nível de arranque 2, o grupo 2 e o alarme são desactivados, após um intervalo de dez segundos.

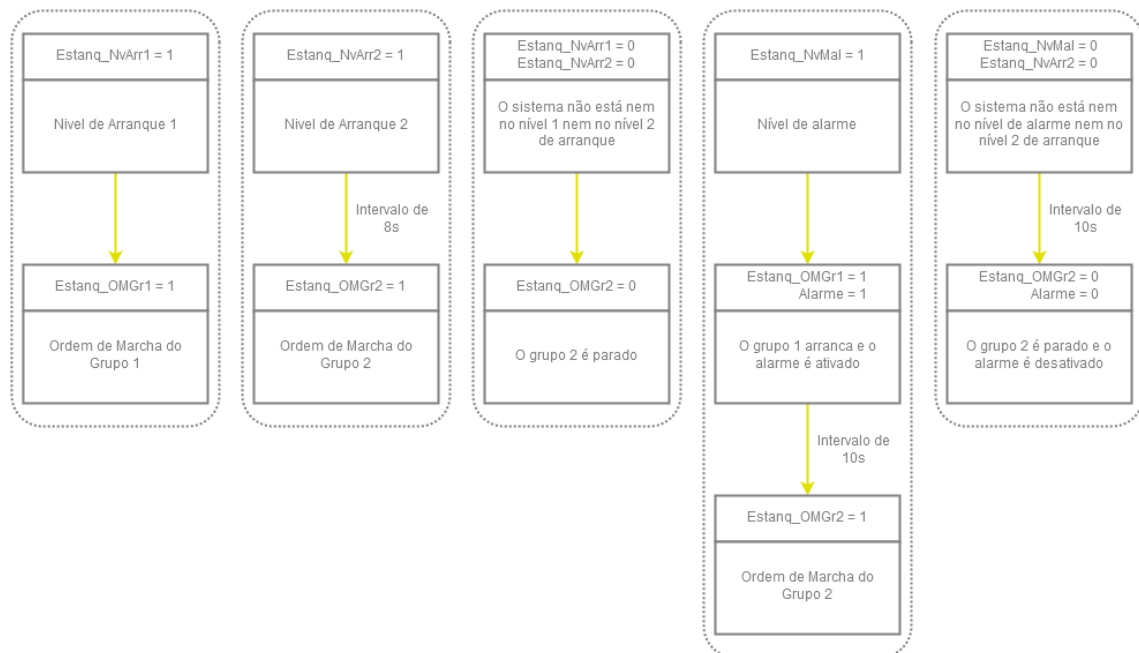


Figura 35 - Diagrama das condições que determinam os comandos de arranque e de alarme.

Quando todas as condições anteriores estão reunidas e não existem avarias nem falhas de energia dá-se o arranque automático dos grupos.

No final desta secção introduziu-se no código *Ladder* o tempo de funcionamento dos grupos e o modo manual criado.

Ventiladores: nesta secção foi criada em *Ladder* a verificação de falha de arranque do ventilador (Figura 36), as condições de ordem de marcha do ventilador, a definição dos tempos ON/OFF, o funcionamento automático com base nos tempos ON/OFF, o tempo de funcionamento e o modo manual.

À semelhança da secção anterior a falha de arranque é detetada quando é dada a ordem de marcha do ventilador, mas este não entra em funcionamento. Quando isto acontece, é detetada a falha e ao fim de 10 segundos é feito o SET de um bit que indica que existe uma falha de arranque. O RESET deste bit é feito quando a falha é reconhecida.

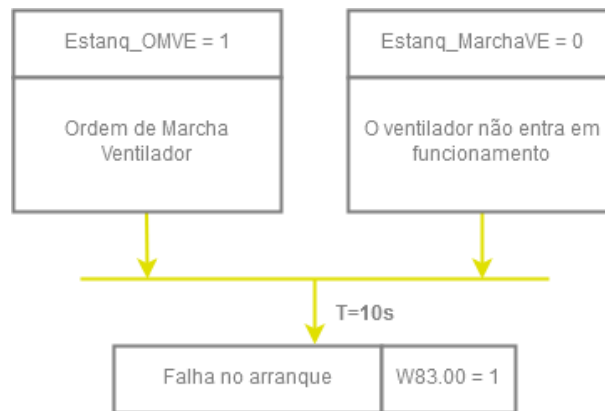


Figura 36 - Diagrama da deteção de falha de arranque do ventilador.

O ventilador foi programado para ligar e desligar automaticamente, mantendo-se ligado durante 15 minutos e desligado também durante 15 minutos (ver Figura 37). Estes tempos ON/OFF foram definidos com recurso a instruções MOVE para dar o valor 15 nas variáveis VE_TON e VE_TOFF que vão ser usadas no bloco de função VE_TON_TOFF.



Figura 37 - Tempo ON/OFF do ventilador.

O funcionamento automático do ventilador com base nos tempos ON/OFF (Figura 38) definidos é controlado pelo bloco de função VE_TON_TOFF. Quando todas as condições são respeitadas e é dada a ordem de marcha do ventilador, é enviado o sinal para ativar o ventilador e é feita a contagem do número de pulsos do relógio interno do autómato que tem um intervalo de tempo de 1s. A cada 60 pulsos é incrementada uma variável auxiliar (Aux2) para determinar o tempo em minutos. Quando essa variável auxiliar atinge o valor 15 o ventilador é desligado, essa variável é depois reiniciada, isto é, a contagem de 15 minutos recomeça sendo feito o SET de um bit que indica que o ventilador está desligado (Aux5). Ao fim de outros 15 minutos o ventilador é ligado. Este processo repete-se ao longo do tempo alternando o estado do ventilador entre ON e OFF.

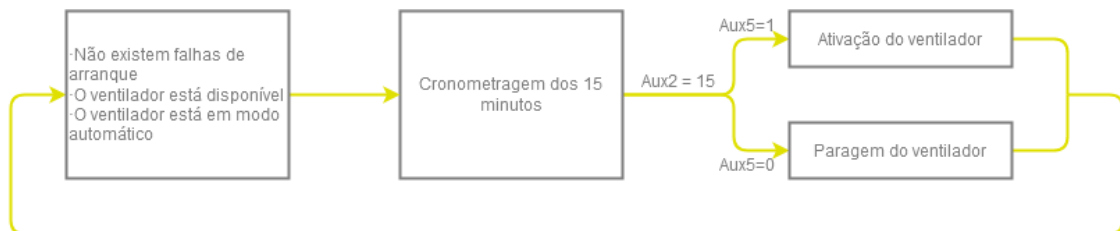


Figura 38 - Diagrama da ativação e da desativação do ventilador.

No final desta secção também foi introduzido no código *Ladder* o tempo de funcionamento dos grupos e o modo manual.

Agitador: o funcionamento do agitador é bastante semelhante ao funcionamento do ventilador apenas tem tempos de funcionamento diferentes, neste caso 30 minutos ON e 30 minutos OFF (Figura 39).

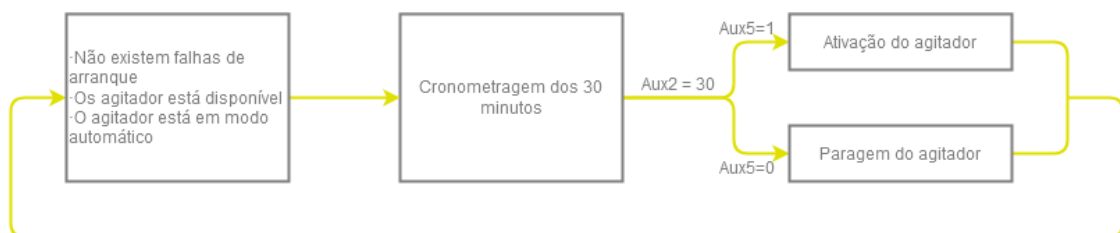


Figura 39 - Diagrama da ativação e da desativação do agitador.

5. Projeto de Realidade Aumentada

O trabalho realizado, descrito no capítulo anterior, foi interrompido por um novo desafio, bastante aliciente, que foi apresentado pela empresa, que consiste em desenvolver um projeto de realidade aumentada com recurso à adaptação do *software* EcoStruxure Augmented Operator Advisor da Schneider Electric numa instalação onde a manutenção do sistema de automação é assegurada pela Manvia. O desafio foi aceite e seguiu-se de imediato para o desenvolvimento deste projeto que foi feito de raiz. A Schneider Electric e a Manvia disponibilizaram todo o material e equipamento necessário para a criação e implementação deste projeto, assim como também ofereceram documentos com informação sobre o *software* e o *hardware* em causa.

5.1. Objetivos

Com o desenvolvimento deste projeto pretendeu-se:

- Implementar a Realidade Aumentada numa infraestrutura de tratamento de águas;
- Explorar a potencialidade da plataforma disponibilizada pela Schneider Electric (Ecostruxure Augmented Operator Advisor);
- Avaliar as vantagens da tecnologia RA no apoio às equipas de operação e manutenção;

Nota: foram excluídos do âmbito do presente estudo, a interligação com as plataformas de gestão de operação (NAVIA) e manutenção (Infraspeak, Aquaman, entre outras), assim como a ativação de máquinas remotamente.

5.2. Planeamento

O sistema de automação presente nas instalações/local encontrava-se já em funcionamento, mas não existia qualquer abordagem de realidade aumentada implementada neste sistema e para tal foi necessário fazer o planeamento deste projeto com base na descrição das instalações e dos processos. Na figura 40 é observa-se uma fotografia da infraestrutura de tratamento de águas



Figura 40 - Vista geral das instalações.

5.2.1. Descrição das instalações

No âmbito da construção do Aterro Sanitário de Aveiro, foi concebida e executada uma reabilitação da ETAL (Estação de Tratamento de Águas Lixiviadas) destinada ao tratamento dos lixiviados gerados no aterro e também das águas residuais com origem doméstica e da lavagem de equipamentos. Este espaço divide-se em diversas áreas onde se situam as estruturas e os equipamentos necessários para a execução dos diferentes processos. Seguem-se alguns exemplos de imagens de zonas e máquinas da ETAL.



Figura 41 - Esq.: decantador secundário, Dir.: agitadores.



Figura 42 - Esq.: zona de oxidação química, Dir.: cuba de ácido fosfórico, agitador e bomba doseadora.

5.2.2. Principais processos

Para que todos os parâmetros cumpram as normas fixadas, a ETAL deve conter uma série de processos fundamentais. O sistema de tratamento das águas residuais geradas no aterro é atualmente constituído por três processos da fase líquida: neutralização, tratamento biológico e tratamento físico-químico (CTGI, 2003).

Neutralização: esta fase de tratamento ocorre no tanque de neutralização química e divide-se em vários procedimentos como o doseamento de Hidróxido de Sódio e Leite de Cal, agitação do tanque de neutralização química e o doseamento de anti espuma. Esta fase é composta pelos seguintes equipamentos, (Manvia S.A., 2020):

- Bomba doseadora de Hidróxido de Sódio 1;
- Bomba doseadora de Hidróxido de Sódio 2;
- Agitador de Hidróxido de Sódio;
- Bomba doseadora de Leite de Cal 1;
- Bomba doseadora de Leite de Cal 2;
- Agitador de Leite de Cal;
- Soprador;
- Bomba doseadora de Anti Espuma.

Tratamento biológico: encontra-se distribuído por diversos pontos do sistema que são, a lagoa anóxica, a lagoa arejada, a estação elevatória de recirculação interna, a estação elevatória de recirculação externa, o decantador secundário, a estação elevatória do efluente

biológico e a estação elevatória de escumas. No conjunto destes pontos, estão presentes os seguintes equipamentos, (Manvia S.A., 2020):

- Agitador 1;
- Agitador 2;
- Arejador 1;
- Arejador 2;
- Compressor 1;
- Bombas.

Tratamento físico-químico: é durante este procedimento que ocorre a oxidação química que representa os processos de recirculação das torres de oxidação, doseamento de peróxido de hidrogénio, doseamento de cloreto férrico e doseamento de ácido sulfúrico. Esta fase de tratamento é composta pelos seguintes equipamentos, (Manvia S.A., 2020):

- Bomba de Recirculação 1;
- Bomba de Recirculação 2;
- Bomba Doseadora de Ácido Sulfúrico 1;
- Bomba Doseadora de Ácido Sulfúrico 2;
- Bomba Doseadora de Peróxido de Hidrogénio 1;
- Bomba Doseadora de Peróxido de Hidrogénio 2;
- Bomba Doseadora de Cloreto Férrico 1;
- Bomba Doseadora de Cloreto Férrico 2.

Os equipamentos estão preparados para operar em dois modos de funcionamento, modo automático e modo manual, (Manvia S.A., 2020):

- **Modo Automático:** os equipamentos estão dependentes da instrumentação de campo, sensores e detectores para o início e fim do seu funcionamento de acordo com a programação efectuada. Alguns podem também estar dependentes de temporizadores.
- **Modo Manual:** ao rodar o selector existente no quadro eléctrico para “Man.”, os equipamentos iniciam o seu funcionamento, sem paragens até que o selector seja reposto na posição “0” ou “Aut.”.

5.2.3. Definição de objetivos

Com base na informação anterior e no equipamento disponível definiu-se a abordagem que se pretendia seguir para se avançar com a execução do projeto.

Uma vez que se trata de um projeto de realidade aumentada com recurso a um *software* que compara as imagens captadas em tempo real com as imagens de referência, o primeiro passo é captar fotografias dos locais e equipamentos descritos nos tópicos anteriores.

Para monitorizar e apresentar toda a informação essencial dos processos na aplicação AR, é necessário extrair essa informação que se encontra presente no autómato responsável pelo sistema de automação.

É necessário também fazer o reconhecimento da rede de comunicação e adaptá-la, (se for necessário) para poder introduzir os dispositivos que constituem o sistema de realidade aumentada na rede. Estudar os processos da estação de tratamentos de águas residuais e os procedimentos de manutenção na área da automação industrial permite definir o caminho mais adequado para o desenvolvimento da aplicação e permite também, introduzir funcionalidades benéficas para os utilizadores da aplicação.

Com todos estes passos anteriores concluídos, o passo final é desenvolver a aplicação com base na informação reunida, procurando sempre conseguir extrair todas as potencialidades do *software* e encontrar a melhor forma de adequar as funcionalidades da aplicação aos processos reais.

5.2.4. Equipamentos

Embora este projeto de realidade aumentada esteja dividido em diversas áreas e componentes a quantidade de equipamentos necessários não é elevada. O sistema de realidade aumentada que foi desenvolvido é constituído por um autómato, um servidor, um *tablet* e pelos dispositivos essenciais para a rede de comunicação. A lista seguinte enumera com mais detalhes os equipamentos usados:

- Servidor – HPE ProLiant MicroServer Gen8;
- *Tablet*, Samsung Galaxy Tab S6;
- PAC, Modicon 340 com dois *racks* de 8 *slots* – BMX XBP 0800, com as seguintes cartas:
 - Fonte de alimentação (x2) BMX CPS 3500 e BMX CPS 2000;

- CPU 340-20 – BMX P34 2020;
- Comunicação – BMX NOM 0200.2 Bus Module 2 RS485/RS232;
- 5 Cartas de 64 entradas digitais – BMX DDI 6402K Dig 64I 24 Vdc;
- 3 Cartas de 64 saídas digitais – BMX DDO 6402K Dig 64Q;
- 1 Carta de 8 entradas analógicas – AMI 0800 Ana 8 U/I In.
- *Router* - Teltonika RUT950.

5.3. Desenvolvimento

Tal como está descrito na secção 3.4.1, o *software* AOA divide-se em três componentes e o primeiro a ser explorado é o AOA Builder pois é este que permite organizar e estruturar todo o projeto de realidade aumentada. Ao seguir o que foi descrito na referida secção e sabendo já a descrição da instalação o desenvolvimento do projeto teve início no AOA Builder.

5.3.1. Desenvolvimento no AOA Builder

Este projeto foi iniciado com a definição de áreas, cenários e subcenários, e com a atribuição das respetivas fotografias. Apenas uma área foi definida e representa a instalação no geral. Ao analisar toda a área e os diferentes processos do sistema determinou-se que o mais adequado seria definir 14 cenários. Os cenários estão associados a cada zona operacional e os subcenários aos equipamentos ou outras zonas operacionais mais detalhadas, Tabela 2.

O segundo passo efetuado foi introduzir no AOA Builder todas as variáveis que já estão definidas no autómato responsável pelo sistema de automação da instalação. Estas variáveis contêm toda a informação essencial dos processos como por exemplo os níveis dos tanques e os estados das bombas.

No passo seguinte identificaram-se os cenários, as máquinas e os aparelhos relevantes com pontos de interesse do tipo texto. Com a identificação concluída todos os preparativos seguintes tornaram-se mais fáceis uma vez que a perceção dos locais onde devem ser colocados os restantes pontos de interesse ficou mais clara.

Os pontos de interesse, que dizem respeito aos dados dos processos (variáveis), foram apresentados diretamente como variáveis ou sob a forma de lista. A escolha destas duas formas é baseada no tipo e no número de equipamentos presentes num único cenário. Uma vez que um dos pontos fortes do *software* usado é a sua forte capacidade de facilitar as tarefas

de manutenção, os POIs principais, apresentados nos cenários que se escolheu introduzir são os que ajudam a identificar as falhas e as zonas ou máquinas onde se encontram essas falhas.

Tabela 2 - Estrutura do projeto dividida em áreas, cenários e subcenários.

Área	Cenários	Subcenários
ETAL	Agitadores Lagoa Anóxica	-
	Arejadores	Recirculação Interna e Compressor
	EE Final	-
	Efluente Biológico e Recirculação Externa	Efluente Biológico
		Recirculação Externa
	Decantador Secundário	-
	Soprador	-
	Neutralização Química	Nível de leite de Cal
		Nível de NaOH
		Bombas 1 e 2 NaOH
		Bombas 1 e 2 Cal
	Oxidação Química 1 e Decantador Lamelar	Decantador lamelar
		Tanque Neutralização
		Torres de Oxidação
	Polietrolito	-
	EE Inicial	-
	Tanque Ácido Fosfórico	-
	Oxidação Química 2	Cuba de H ₂ O ₂
Cuba de FeCL ₃		
Cuba de H ₂ SO ₄		
Escumas	-	
Vista Geral	-	

Na Figura 43 encontra-se um exemplo de um cenário que contém informação sobre a identificação de uma avaria no decantador secundário. No caso de ocorrer uma avaria, a informação é visível numa variável inserida num POI do tipo lista. Esta informação é acompanhada por um POI do tipo imagem, (neste caso um sinal triangular vermelho, do tipo aviso) que serve como indicador de avaria.



Figura 43 - Exemplo de um POI do tipo imagem para indicar a ocorrência de uma avaria e um POI do tipo lista.

Mais informação pode ser introduzida nos subcenários (como se pode verificar na Figura 44) onde o objetivo é apresentar informação mais detalhada dos processos e dos dispositivos. A quantidade de dados e a necessidade de oferecer mais informação aos operadores são os fatores que contribuirão para se determinar quais os cenários que devem conter subcenários.

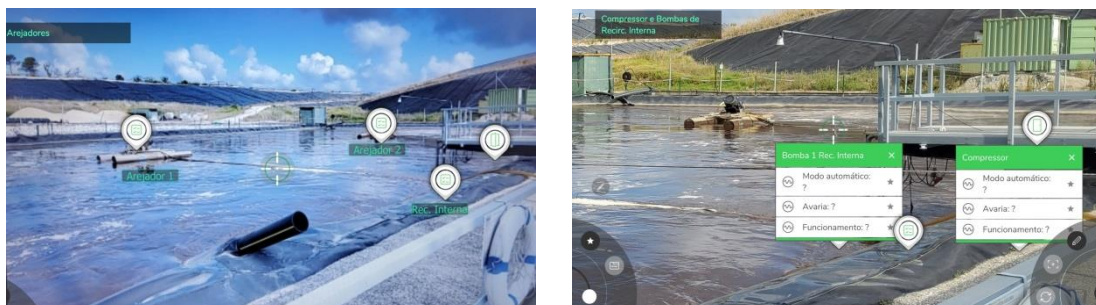


Figura 44 - Esq.: Cenário de Arejadores. Dir.: Subcenário do cenário de Arejadores com mais detalhes sobre equipamentos específicos desse cenário.

Documentos e aplicações externas foram outros tipos de POIs que foram adicionados a este projeto sendo que os documentos são por exemplo, documentos de informação sobre o processo ou *datasheets*. Segue-se uma lista do tipo de documentos que foram introduzidos no projeto:

- Ficha de segurança;
- Matriz de identificação de perigos e avaliação de risco;
- Ficha técnica dos equipamentos;
- Verificação do equipamento de trabalho;
- Manuais;
- Guias de *troubleshooting*.

As ações dinâmicas que podem ocorrer de acordo com os estados ou valores das variáveis foram configuradas, com o auxílio da ferramenta *triggers* do AOA Builder. Os eventos principais criados foram os alertas de avarias e alterações da indicação do modo e do estado de funcionamento dos equipamentos (exemplos no diagrama da Figura 45).

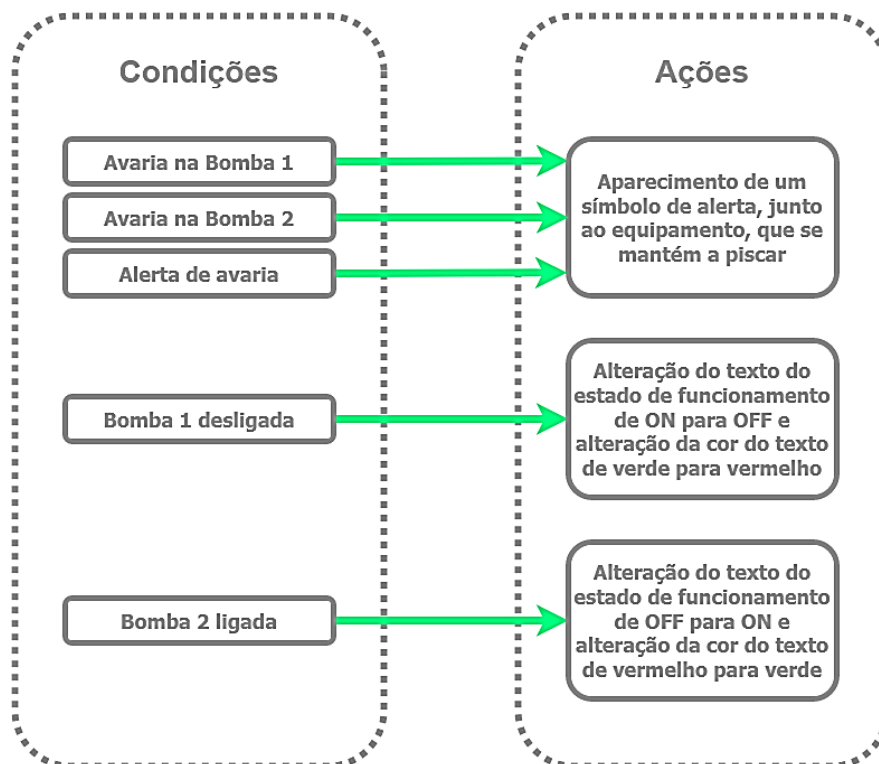


Figura 45 - Diagrama de exemplos de *triggers* do projeto.

5.3.2. Desenvolvimento no AOA Runtime

A componente Runtime do *software* Augmented Operator Advisor é responsável por reunir o conteúdo criado no AOA Builder, recolher dados do autómato e enviar toda a informação do resultado final do projeto para a aplicação no *tablet*. Foi nesta componente que foram definidas as portas específicas necessárias para a comunicação, juntamente com as configurações da *firewall* do dispositivo onde está instalado o AOA Runtime. Estas configurações são essenciais para que o servidor web AOA funcione corretamente.

É também no AOA Runtime que está integrado o AOA Manager onde foram definidos os dados dos utilizadores e os seus níveis de permissão.

5.3.3. Desenvolvimento no Node-RED

Neste projeto todos os dados são extraídos do autómato via Node-RED e o fluxo de dados pode ser observado na Figura 46.

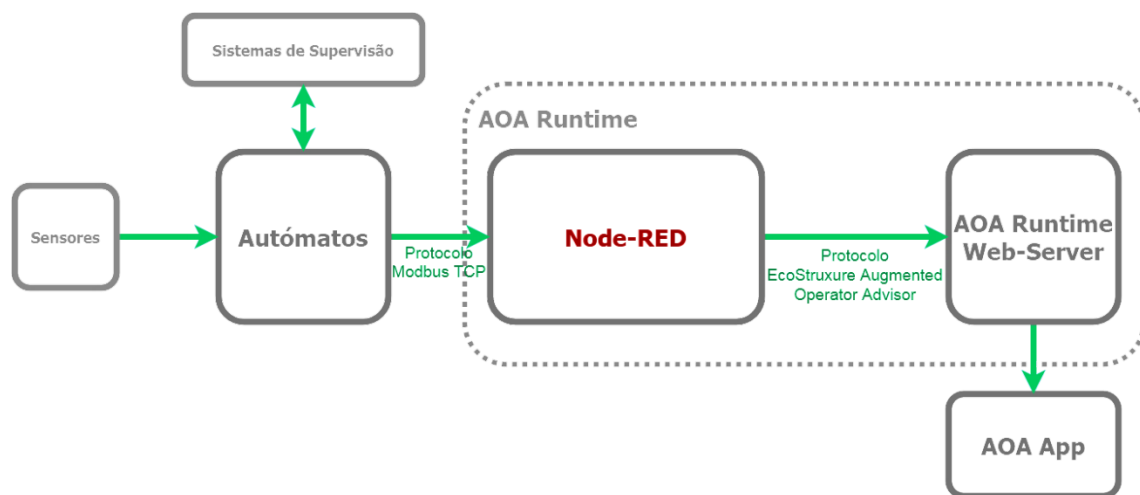


Figura 46 - Diagrama do fluxo de dados.

Os dados processados pelos autómatos são transmitidos para o servidor Node-RED com o protocolo de comunicação Modbus TCP. Na aplicação *web* Node-RED, os dados são novamente processados e enviados ou são apenas diretamente enviados, livres de quaisquer

operações, para o servidor hospedado no dispositivo que contém o AOA Runtime. O envio das variáveis para este servidor é realizado com o suporte do protocolo específico do AOA e apenas é necessário garantir que a porta definida é a correta e que os nomes das variáveis declaradas no Node-RED sejam iguais aos nomes das variáveis definidas no AOA Builder.

No programa Node-RED criado para o projeto em questão, o fluxo começa com a transferência de dados do PLC para o Node-RED. A comunicação estabelecida entre estes dois pontos opera sobre o Protocolo Modbus TPC e o nó responsável por esta tarefa é o “Modbus Read”. Neste caso são transferidas 19 *words* do PLC e cada bit dessas 19 *words* é extraído para uma variável definida noutro nó do Node-RED, o nó “change”, com o nome do endereço correspondente, como é possível observar na figura seguinte.

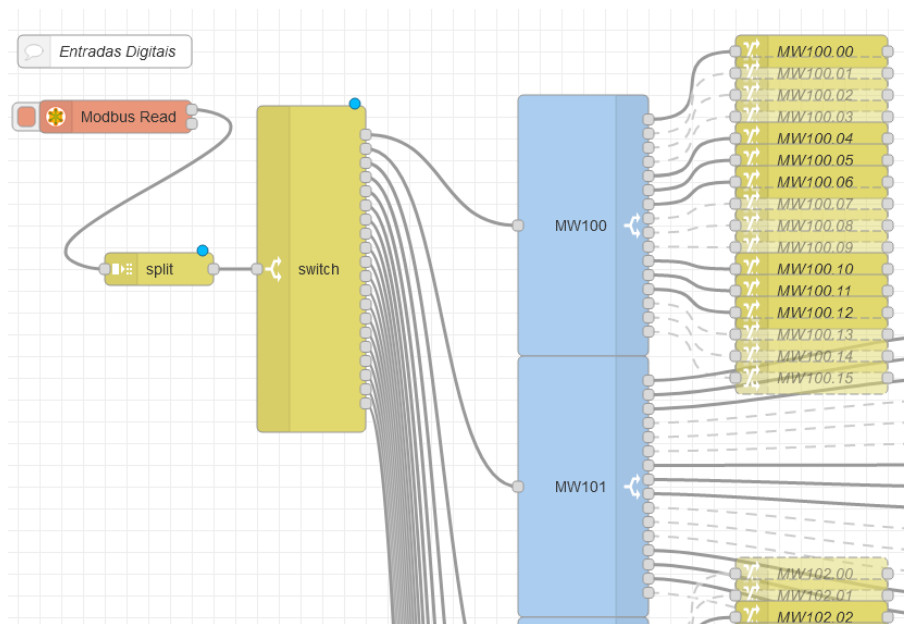


Figura 47 - Transferência de dados de sinais digitais do PLC para o Node-RED e separação de dados.

As variáveis digitais são usadas em funções do nó “function”. Neste nó o estado das variáveis é verificado e enviado para o nó “Augmented Operator-variable” para ser posteriormente transmitido para o servidor AOA através do último nó deste fluxo, “Augmented Operator-server”.

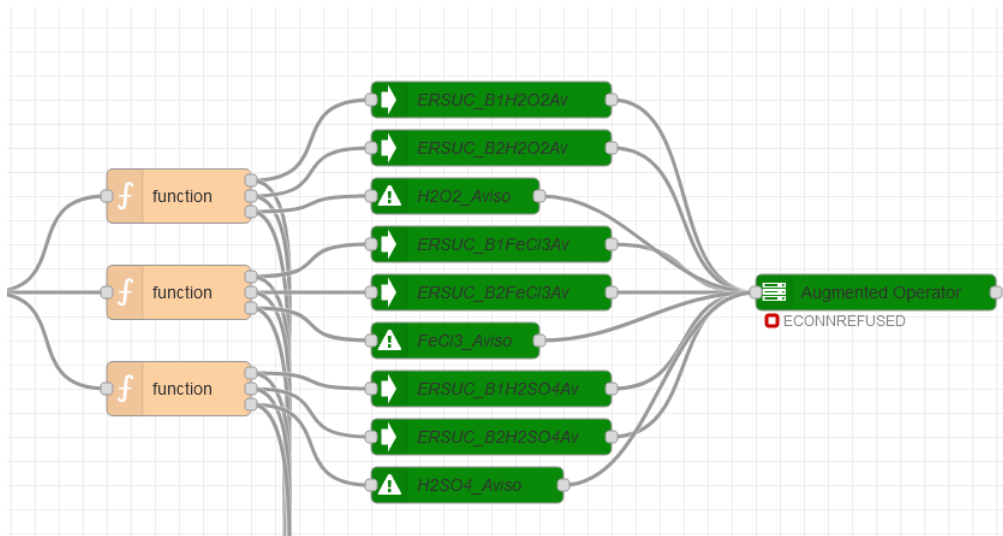


Figura 48 - Envio dos dados para o servidor AOA.

Neste caso, as funções permitiram criar uma nova variável que serve de indicador para ativar ou desativar a visibilidade de um sinal de aviso no AOA App de acordo com as condições especificadas no Node-RED e no AOA Builder.

```

Edit function node
Delete Cancel Done
Properties
Name
Setup Function Close
1 var var1 = global.get('ERSUC_B1H2O2Av');
2 var var2 = global.get('ERSUC_B2H2O2Av');
3
4 if(var1 == 1 || var2 == 1){
5     msg3 = {payload: 1};
6 }
7 else msg3 = {payload: 0};
8
9 msg1 = {payload:var1};
10 msg2 = {payload:var2};
11
12 return [msg1,msg2,msg3];
13
14
    
```

Figura 49 - Exemplo de uma função introduzida no projeto. (msg3 corresponde ao aviso).

As variáveis analógicas não são apresentadas da mesma forma que as variáveis digitais. Decidiu-se atribuir um aspeto mais apelativo às variáveis analógicas que dizem respeito, por exemplo, ao nível de pH ou ao valor de um caudal. Uma vez que o AOA Builder permite introduzir aplicações externas nos projetos e a plataforma Node-RED oferece a possibilidade

de criar um painel de controlo com gráficos e “ilustradores” utilizando a ferramenta *Dashboard*, chegou-se à conclusão de que seria benéfico combinar estas duas funcionalidades no projeto.

À semelhança das variáveis digitais, as variáveis analógicas são transmitidas do PLC para o Node-RED através do nó “Modbus Read”.

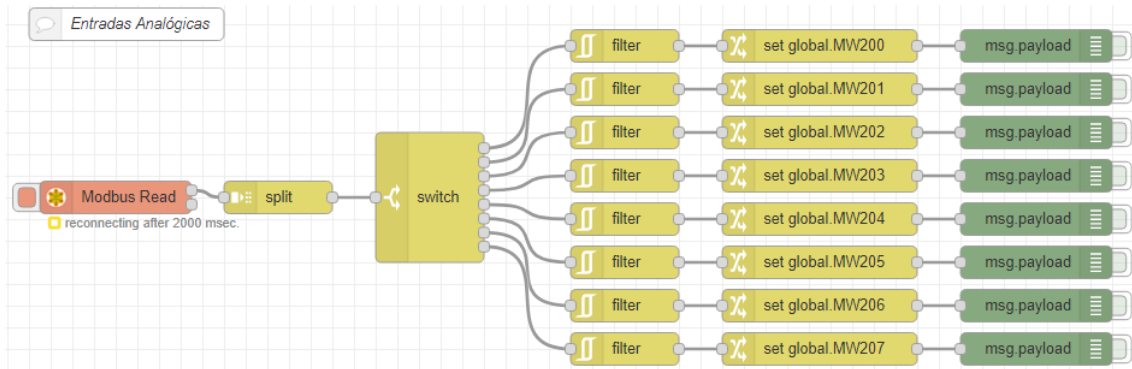


Figura 50 - Transferência de dados de sinais analógicos do PLC para o Node-RED e separação de dados.

Estas variáveis, passam depois por funções que para além de permitirem uma melhor organização dos dados, também permitem apresentar o valor absoluto e o valor percentual. Esses valores são encaminhados para os *widgets* do *dashboard* que mais se adequam à informação que se pretende apresentar. Também é possível ver os valores dispostos num gráfico ao longo do tempo para facilitar a análise do comportamento dos sinais observados. Na Tabela 3 é possível observar o tipo de informação e os *widgets* que foram escolhidas para cada variável analógica.

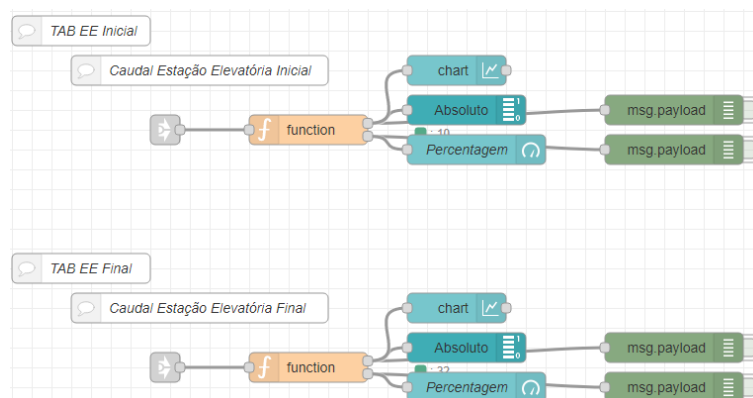


Figura 51 - Fluxo de mensagens para construir parte do *dashboard*.Tabela 3 - Tabela de detalhes do *dashboard*.

Fonte e Tipo de Informação	Escala	Tipo de Widget
EE Inicial (abs)	0...60 m ³	Indicador de nível vertical
EE Inicial - Gráfico (abs)	0...60 m ³	Gráfico tempo/valor
EE Inicial (%)	0...100 %	Medidor radial semicircular
EE Final (abs)	0...120 m ³	Indicador de nível vertical
EE Final - Gráfico (abs)	0...120 m ³	Gráfico tempo/valor
EE Final (%)	0...100	Medidor radial semicircular
Lamas Mistas (abs)	0...30 m ³	Indicador de nível vertical
Lamas Mistas - Gráfico (abs)	0...30 m ³	Gráfico tempo/valor
Lamas Mistas (%)	0...100 %	Medidor radial semicircular
PH Neutralização (abs)	0...14	Indicador de nível horizontal
PH Neutralização - Gráfico (abs)	0...14	Gráfico tempo/valor
PH da Oxidação Química (abs)	0...14	Indicador de nível horizontal
PH da Oxidação Química - Gráfico (abs)	0...14	Gráfico tempo/valor
Oxigénio do Arejamento (abs)	0...20 mg/l	Indicador de nível vertical
Oxigénio do Arejamento - Gráfico (abs)	0...20 mg/l	Gráfico tempo/valor
Oxigénio do Arejamento (%)	0...100 %	Medidor radial
Tanque de Arejamento (abs)	0...10000 m	Indicador de nível vertical
Tanque de Arejamento - Gráfico (abs)	0...10000 m	Gráfico tempo/valor
Tanque de Arejamento (%)	0...100 %	Medidor radial
Redox da Oxidação Química (abs)	-2100...2100 mV	Indicador de nível vertical
Redox da Oxidação Química - Gráfico (abs)	-2100...2100 mV	Gráfico tempo/valor
Redox da Oxidação Química (%)	0...100 %	Medidor radial

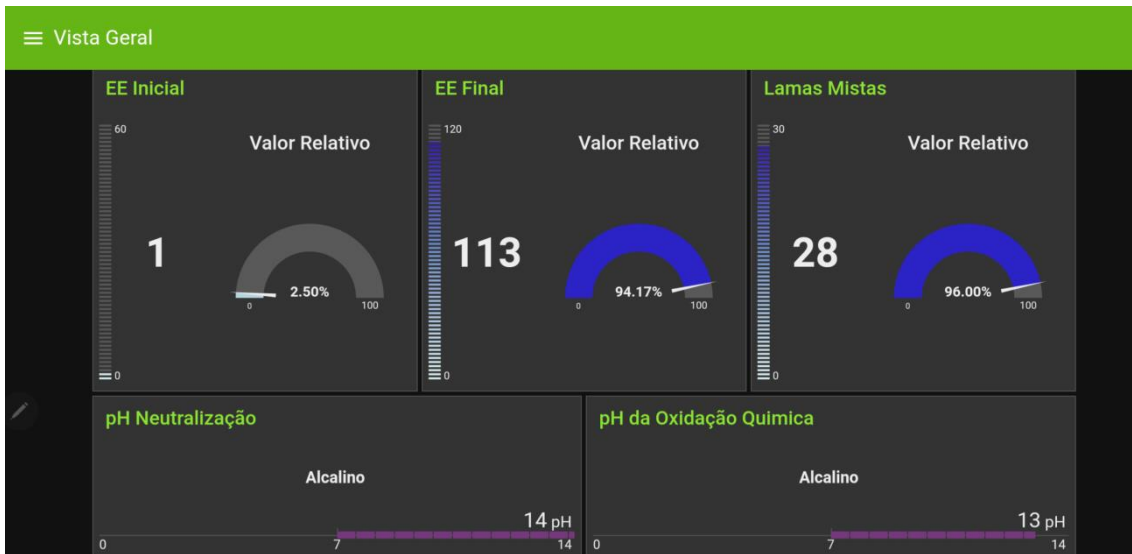


Figura 52 - Parte do *dashboard* do cenário “Vista Geral” com vários *widgets* diferentes.

O Node-RED e o *Dashboard* (exemplo na Figura 52 e na Figura 53) incluídos na aplicação de realidade aumentada são aplicações web que podem ser abertas em qualquer *browser*. Após finalizar a construção deste painel, introduziu-se o *Dashboard* como aplicação externa, na forma de *link*, no AOA Builder. Quando os utilizadores iniciam a aplicação AOA App e interagem com o POI da aplicação externa, esta é aberta num *browser* dentro da aplicação AOA App.

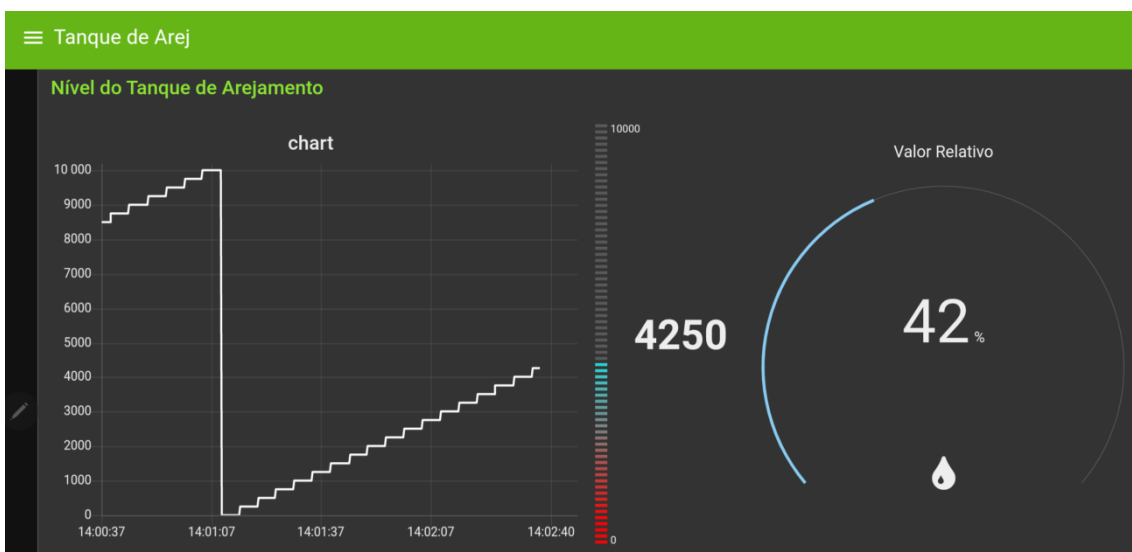


Figura 53 - Três *widgets* diferentes usados no *Dashboard* do cenário "Arejamento final".

5.3.4. Utilização do AOA App

O resultado final de tudo o que foi realizado/desenvolvido no AOA Builder e no Node-RED e também do que foi configurado no AOA Runtime/Manager pode-se observar na aplicação AOA App. Foi nesta componente que foi feita a verificação de cenários, POIs, procedimentos, *triggers*, configurações de conexão, entre outros.

6. Resultados

Após a construção do programa de realidade aumentada, adaptado à estação de tratamento de águas lixiviadas da Taboeira, com a ferramenta AOA Builder e a transferência desse mesmo programa para a aplicação AOA App foi efetuada a testagem do seu funcionamento.

O desempenho da aplicação do projeto implementado é considerado bom se:

- A detecção dos cenários for efetuada corretamente;
- Todos os pontos de interesse criados surgirem nos cenários e subcenários identificados;
- Os dados do sistema de automação forem recebidos e apresentados corretamente na aplicação.

Tendo em conta estas condições analisaram-se os resultados obtidos.

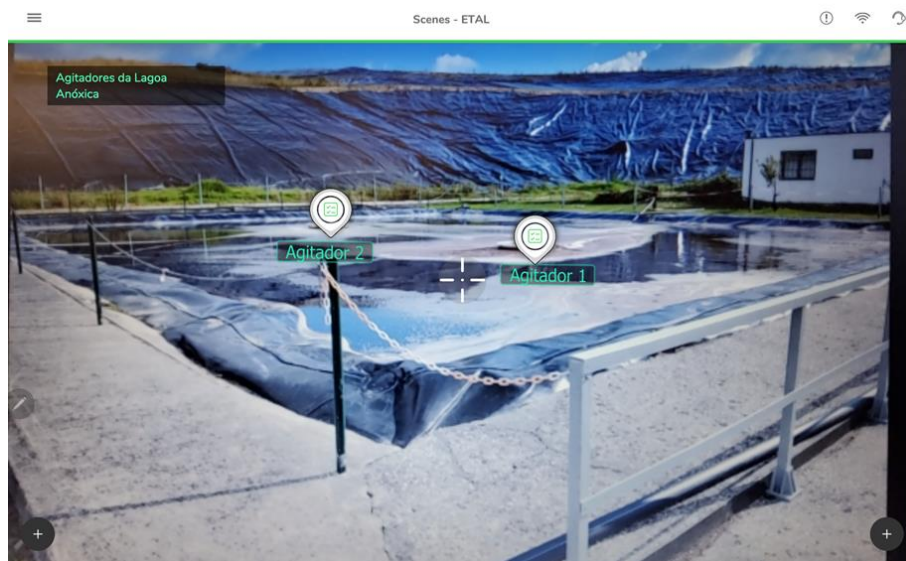


Figura 54 - Cenário "Agitadores da Lagoa Anóxica".

O primeiro passo dado foi ligar o *tablet* à mesma rede de comunicação do dispositivo que contém o AOA Runtime. Iniciou-se a aplicação e fez-se o login, que me permitiu verificar se as configurações de comunicação estavam corretas e em simultâneo confirmar que os utilizadores geridos no AOA Manager estavam bem configurados.

Ao fazer login o projeto foi aberto e o passo seguinte foi testar o reconhecimento de cenários e confirmar que os cenários são reconhecidos corretamente e que todos os pontos de interesse que foram introduzidos no AOA Builder estão presentes nos respectivos cenários.

Nesta fase de testagem, os sinais recebidos pelo autômato foram simulados (Figura 55 e Figura 56). Os estados/valores das variáveis das entradas digitais/análogicas foram forçados no software de programação do autômato M340 da Schneider Electric, o Unity Pro XL.

Name	Value	Type
%I0.2.0	0	EBOOL
%I0.2.1	0	EBOOL
%I0.2.2	0	EBOOL
%I0.2.3	0	EBOOL
%I0.2.4	0	EBOOL
%I0.2.5	F1	EBOOL
%I0.2.6	0	EBOOL
%I0.2.7	0	EBOOL
%I0.2.8	0	EBOOL
%I0.2.9	0	EBOOL
%I0.2.10	0	EBOOL
%I0.2.11	F1	EBOOL
%I0.2.12	F1	EBOOL
%I0.2.13	0	EBOOL
%I0.2.14	0	EBOOL

Figura 55 - Exemplo de entradas digitais forçadas.

Name	Value	Set Value	Type	Comment
ERSUC_MCEEI	0	20	INT	Caudal Estação Elevatória Inicial
ERSUC_MCEEPB5	0	30	INT	Caudal Estação Elevatória Final
ERSUC_MCLamMist	0	15	INT	Caudal Lamas Mistas
ERSUC_PhNeutra	0	400	INT	PH Neutralização
ERSUC_O2Arej	0	1500	INT	Oxigenio do Arejamento
ERSUC_NvTanqArej	0	900	INT	Nivel do Tanque de Arejamento
ERSUC_PhOxiQuim	0	1200	INT	Ph da Oxidação Quimica
ERSUC_RdxQuim	0	8000	INT	Redox da Oxidação Quimica

Figura 56 - Exemplo de entradas analógicas forçadas.

Na Figura 54, observa-se que o cenário "Agitadores da Lagoa Anóxica" foi identificado corretamente e que todos os pontos de interesse que foram criados para este cenário no AOA Builder estão presentes na aplicação final e situam-se nos locais certos desse mesmo cenário.



Figura 57 - Cenário "Arejadores".

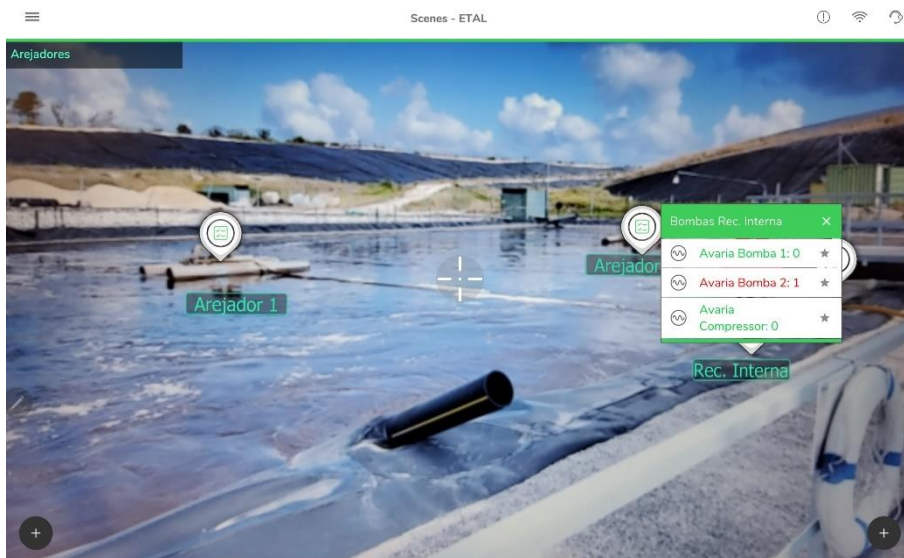


Figura 58 - Cenário "Arejadores" com a expansão de uma lista.

Ao analisar a Figura 57 confirma-se que a imagem de alerta surge quando ocorre uma avaria. Na Figura 58 verifica-se que de facto foi recebido um sinal de avaria num dos equipamentos presentes no cenário. Foi também possível concluir que a transmissão de dados do autómato para a aplicação de realidade aumentada foi efetuada com sucesso.



Figura 59 - Cenário "Estação Elevatória Final".



Figura 60 - Dashboard do cenário "Estação Elevatória Final".

A presença do POI do tipo aplicação externa que representa o *dashboard* no cenário “Estação Elevatória Final” e a visualização dessa mesma aplicação após a interação com esse POI são indicação que esta funcionalidade está a operar corretamente.

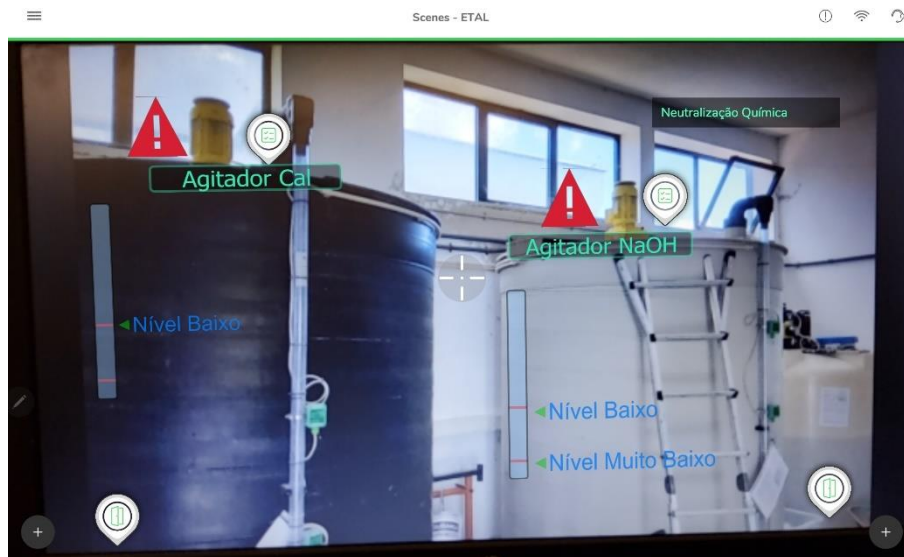


Figura 61 - Cenário " Neutralização Química".

No cenário bem identificado como “Neutralização Química” (Figura 61), é possível observar os indicadores de níveis associados aos reservatórios de leite de cal e de soda cáustica (NaOH), e observar também que estes indicadores gráficos são acompanhados corretamente pelos textos que ajudam a identificar o nível em que se encontram os reagentes presentes nos reservatórios (nível baixo ou muito baixo). Ainda neste cenário foi feita a análise da apresentação dos subcenários (presentes neste cenário).

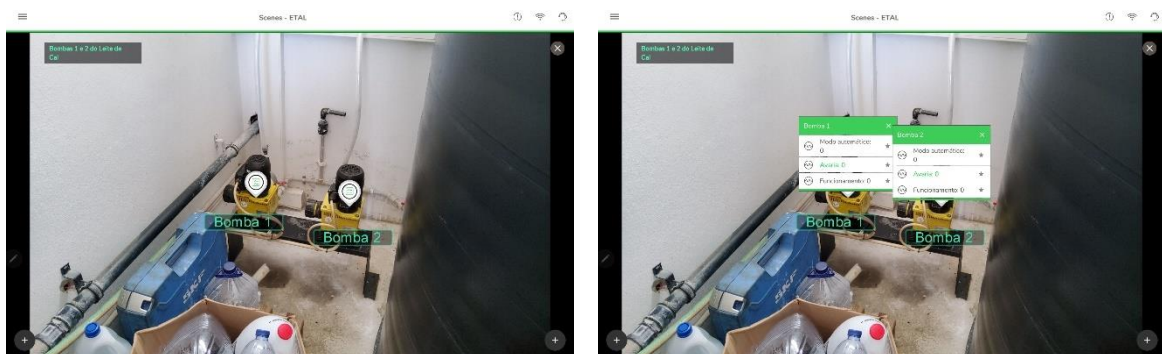


Figura 62 - Dois subcenários associados ao cenário "Neutralização Química".

Como se pode observar, os subcenários surgiram como pretendido e contêm a informação que foi introduzida no AOA Builder.

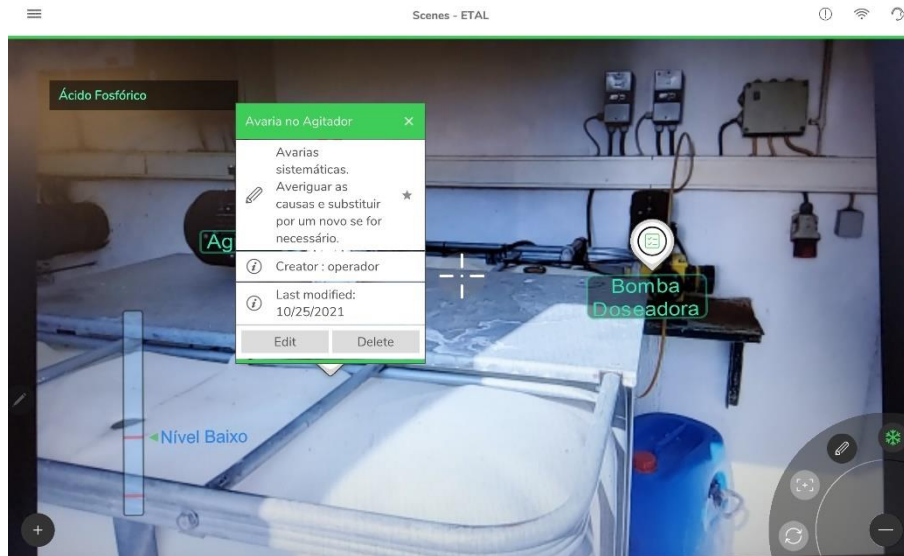


Figura 63 - Cenário "Ácido Fosfórico".

Por ser um ponto de interesse com características diferentes dos outros tipos de POI, foi criada uma nota (Figura 63) e observou-se que esta ficou bem definida e que se manteve na aplicação mesmo depois da aplicação ter sido fechada e confirmou-se também que esta nota é visível noutros dispositivos móveis, que contenham o mesmo projeto desenvolvido.

Por último, realizou-se a verificação da abertura de pontos de interesse do tipo documento, pois estes POI's são muito importantes nesta aplicação de realidade aumentada implementada na área da manutenção e operação, uma vez que apoiam os trabalhadores na execução das suas tarefas e aumentam a sua confiança e segurança.

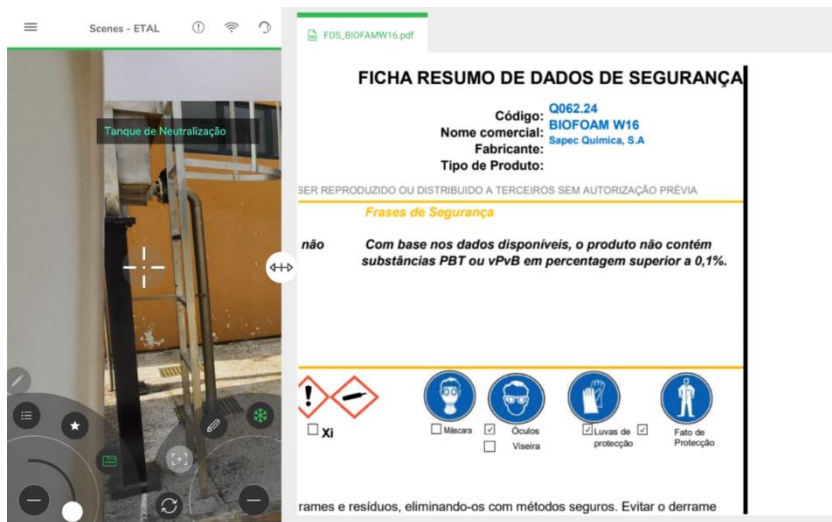


Figura 64 - Visualização da ficha de segurança presente no cenário "Tanque de Neutralização".

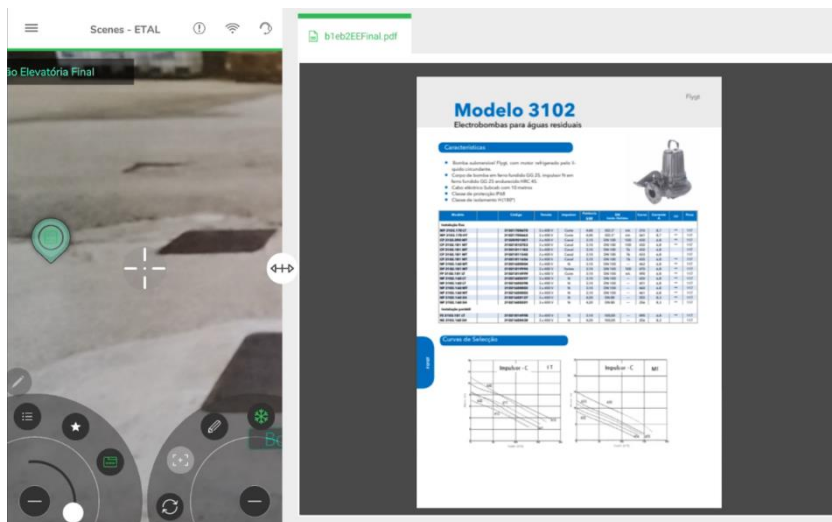


Figura 65 - Visualização do *datasheet* das bombas presentes no cenário "Estação Elevatória Final".

Como se pode observar na Figura 64 e na Figura 65 foi possível confirmar que os pontos de interesse do tipo documento estão presentes nos cenários tal como foi definido no AOA Builder e que o conteúdo dos documentos é apresentado tal como pretendido.

7. Conclusões

O balanço final que é feito do estágio é muito positivo. O caminho percorrido e os desafios enfrentados não só enriqueceram as minhas competências de saber-saber e de saber-fazer como também melhoraram as minhas competências sociais.

Esta introdução ao mundo de trabalho e o contacto com novos equipamentos e novas metodologias permitiu aumentar o meu conhecimento em áreas como a automação industrial, realidade aumentada e outros temas relacionados com a engenharia eletrotécnica.

O projeto de desenvolvimento e implementação da tecnologia de realidade aumentada numa infraestrutura de tratamento de águas demonstrou ser um projeto interessante e desafiante que contribuiu significativamente para o crescimento das minhas aptidões de planeamento e execução de projetos. O estudo da realidade aumentada, a exploração das funcionalidades e potencialidades da ferramenta de realidade aumentada utilizada e, a procura da melhor forma de adaptar essa mesma ferramenta às tarefas de operação e manutenção realizadas na estação de tratamento de águas lixivantes de Aveiro, foram alguns dos desafios deste projeto. Os conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico e o apoio prestado por colegas de trabalho e outros colaboradores da Manvia permitiram-me ultrapassar os obstáculos que foram surgindo e atingir as metas deste projeto. A tecnologia de realidade aumentada foi implementada na instalação com sucesso, as potencialidades do software AOA da Schneider foram exploradas e utilizadas com êxito e o resultado final demonstrou ter a capacidade de oferecer apoio às equipas de operação e manutenção.

Este estágio foi apenas o início de um longo caminho no mercado de trabalho. Foi uma ótima experiência e espero continuar a trabalhar nesta área e no futuro desenvolver novos projetos.

Referências

- Inter IKEA Systems. (2021). *Ikea App Page - IKEA*. Obtido de ikea: <https://www.ikea.com/au/en/customer-service/mobile-apps/say-hej-to-ikea-place-pub1f8af050>
- c3controls. (©2021). *Global Leader in Industrial Control Devices - c3controls*. Obtido de c3controls: <https://www.c3controls.com/white-paper/back-to-plc-basics-guide-programmable-logic-controller/>
- Congressional Research Service. (12 de Fevereiro de 2020). *CRS Report*. Obtido de crsreports.congress: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11239>
- CTGI. (03 de 2003). *Memória Descritiva - ETAL*. Taboeira, Aveiro.
- Dini, G., & Dalle Mura, M. (2015). *Application of Augmented Reality Techniques*. Department of Civil and Industrial Engineering, University of Pisa, Via Diotisalvi, Itália: Procedia CIRP 38.
- Google. (fevereiro de 2013). *Glass-Glass*. Obtido de google: <https://www.google.com/glass/start/>
- Hyundai Motor Company. (©2021). *Hyundai Motor Company Worldwide Website*. Obtido de hyundai: <https://www.hyundai.com/worldwide/en/company/newsroom/hyundai-virtual-guide-introduces-augmented-reality-to-the-owner%2527s-manual-0000005199>
- Manvia. (2021). *www.manvia.pt*. Obtido de <http://www.manvia.pt/institucional/>
- Manvia S.A. (06 de 03 de 2018). *Organograma*. Obtido de Manvia.pt: <http://www.manvia.pt/mediacenter/institucional/Organograma.pdf>
- Manvia S.A. (2020). *Manual ETAL Taboeira*.
- Manvia S.A. (2021). *Areas de negócio - Edifícios*. Obtido de Manvia.pt: <https://www.manvia.pt/areas-de-negocio/edificios/>
- Manvia S.A. (2021). *Instituição - Manvia*. Obtido de Manvia.pt: <https://www.manvia.pt/institucional/>

Medivis. (©2020). *Medivis*. Obtido de medivis: <https://www.medivis.com/>

OMRON. (©2001). *CX-Programmer User Manual*.

OMRON. (2010). *SYSMAC CJ-series Serial Communications UnitsCJ1W-SCU*.

OMRON. (2018). *CJ-series CJ1M CPU UnitsCJ1M-CPU1_*.

OMRON. (2019). *CJ-series Input UnitsCJ1W-ID/IA*.

OMRON. (2019). *CJ-series Output UnitsCJ1W-OC/OA/OD*.

OMRON. (2020). *OMRON Industrial Automation*. Obtido de omron: <https://www.omron.com.au/products/family/1638/specification.html>

OMRON. (2021). *CJ-series Ethernet UnitCJ1W-ETN21*.

OMRON. (2021). *OMRON, Europe*. Obtido de industrial.omron: <https://industrial.omron.eu/en/products/CJ1W-SCU41-V1>

OMRON. (2021). *OMRON, Portugal*. Obtido de industrial.omron: <https://industrial.omron.pt/pt/products/CJ1W-ID211>

OMRON. (2021). *OMRON, Portugal*. Obtido de <https://industrial.omron.pt/pt/products/CJ1W-OD212>

OMRON. (2021). *OMRON, Portugal*. Obtido de industrial.omron: <https://industrial.omron.pt/pt/products/CJ1W-ETN21>

OpenJS Foundation. (s.d.). *Node-RED*. Obtido de nodered: <https://nodered.org/#features>

PhD Assistance. (11 de 02 de 2020). *Dissertation On Control System: Industrial Automation, Robotics And Mechanical System*. Obtido de PhDAssistance.com: <https://www.phdassistance.com/blog/dissertation-on-control-system-industrial-automation-robotics-and-mechanical-system/>

PLCdev. (©2021). *PLCdev | Tools for PLC programming*. Obtido de plcdev: http://www.plcdev.com/how_plcs_work

PwC. (Setembro de ©2018). *PwC Portugal*. Obtido de pwc: <https://www.pwc.pt/pt/temas-actuais/pwc-apresentacao-iot.pdf>

Qualcomm Technologies. (Outubro de ©2018). *Wireless Technology & Innovation*. Obtido de qualcomm: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/the-mobile-future-of-augmented-reality.pdf>

Schneider Electric. (31 de 12 de 2006). Chapter 9 - Industrial Networks.

Schneider Electric. (2014). Industrial Networks.

Schneider Electric. (Fevereiro de 2018). EcoStruxure™ Plant Certification Programs - Principles of *Ethernet* Networking Study Guide (2018).

Schneider Electric. (Julho de 2020). EcoStruxure Augmented Operator Advisor App User Manual.

Schneider Electric. (Julho de 2020). EcoStruxure Augmented Operator Advisor Builder User Manual.

Schneider Electric. (Julho de 2020). EcoStruxure Augmented Operator Advisor Quick Start Guide.

Schneider Electric. (Julho de 2020). EcoStruxure Augmented Operator Advisor Runtime User Manual.

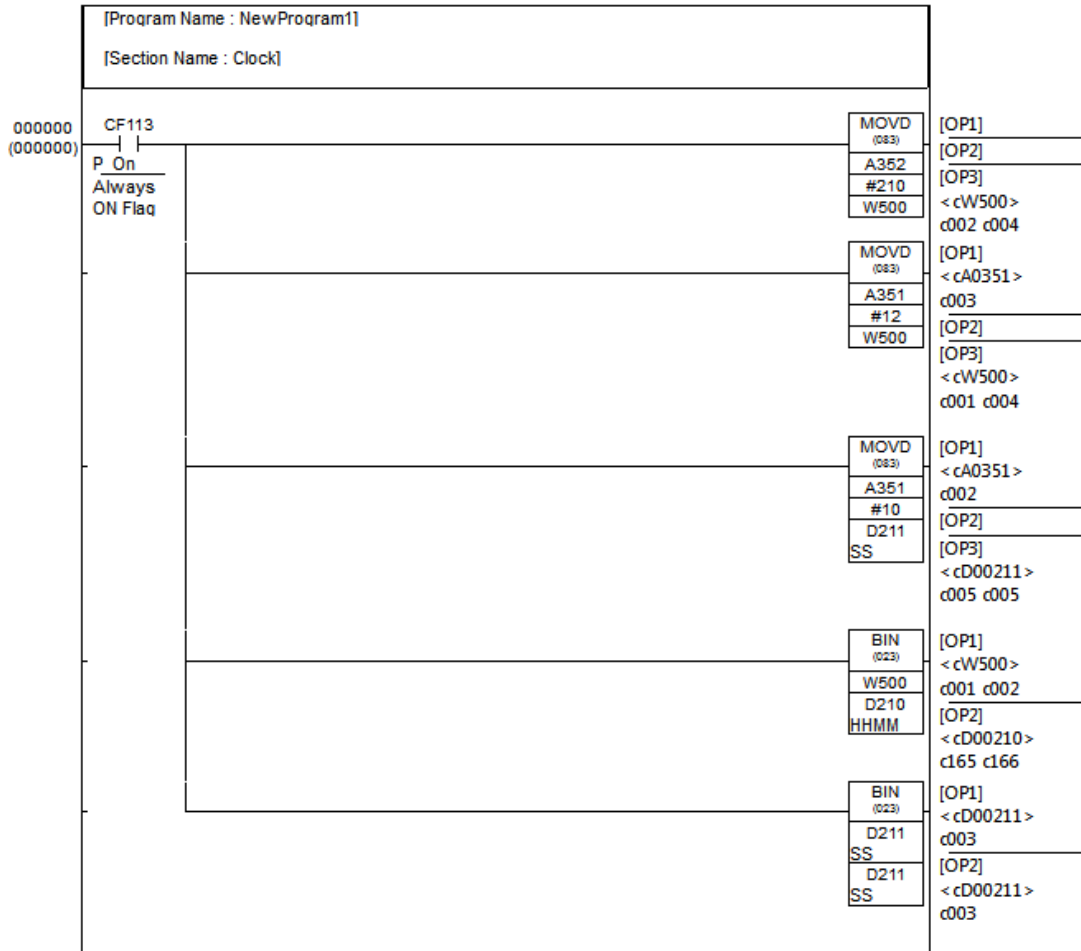
Sony Corporation. (©2021). *Sony Corporation*. Obtido de sony: <https://www.sony.net/Products/Developer-Spatial-Reality-display/en/develop/AboutSRDisplay.html>

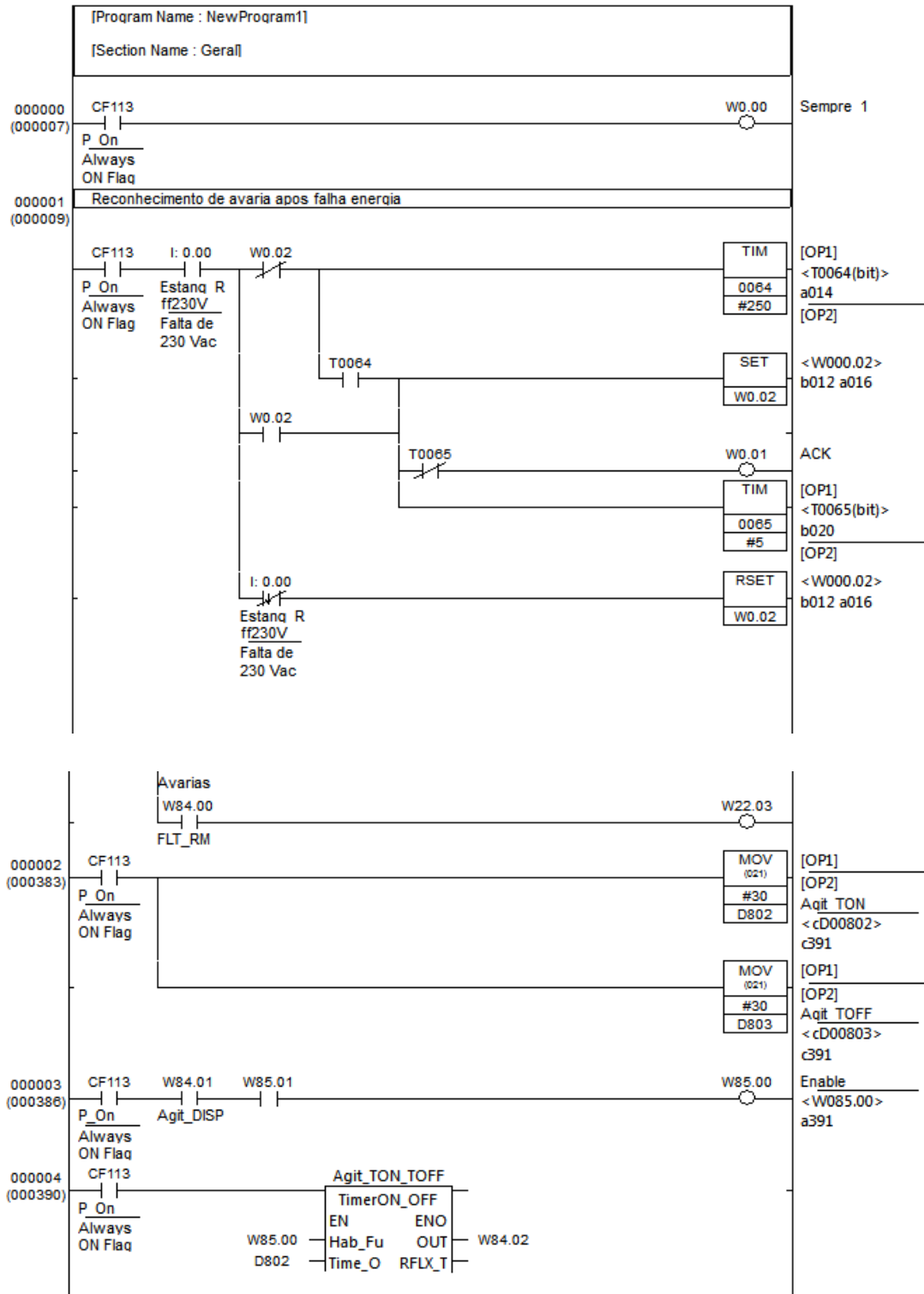
Unitronics®. (2021). *Unitronics- Programmable Logic Controllers*. Obtido de unitronicsplc: <https://www.unitronicsplc.com/what-is-plc-programmable-logic-controller/>

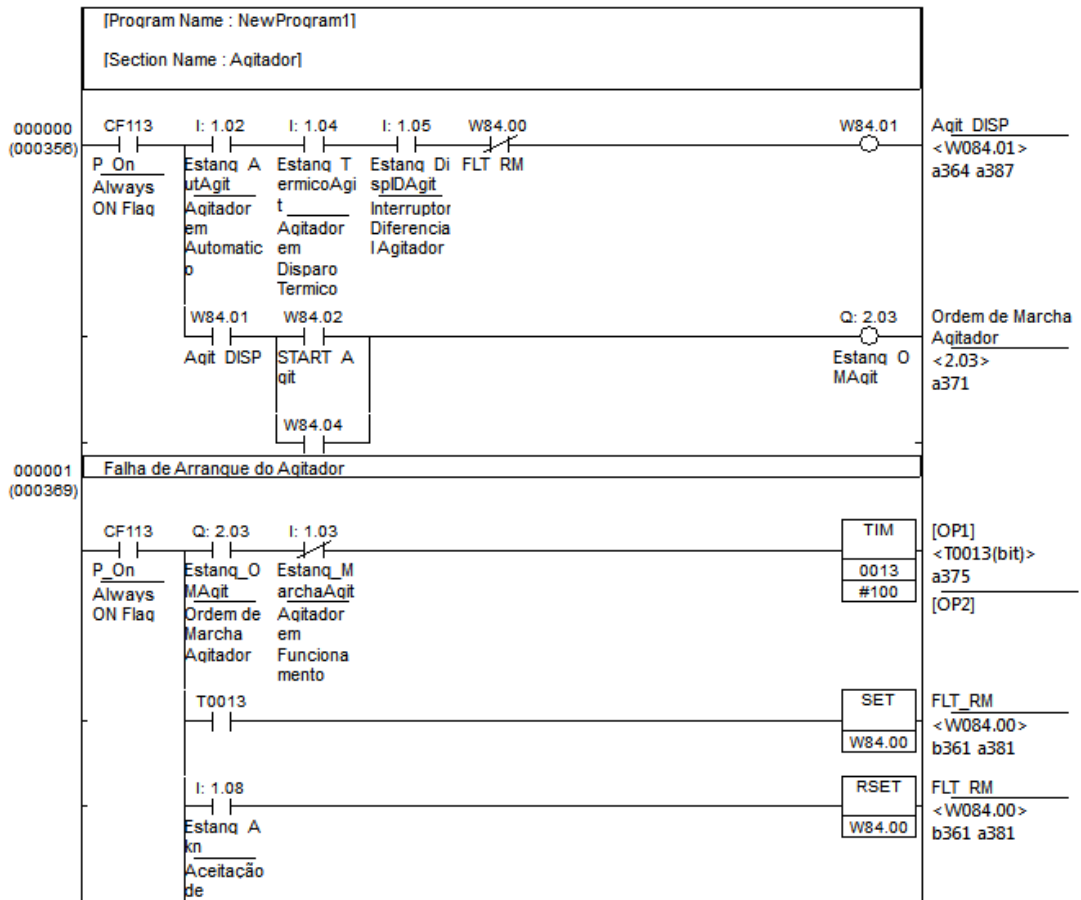
vrfocus. (s.d.). *Gatwick Airports Augmented Reality Passenger App wins awards*. Obtido de vrfocus: <https://www.vrfocus.com/2018/05/gatwick-airportsaugmented-reality-passenger-app-wins-awards/>

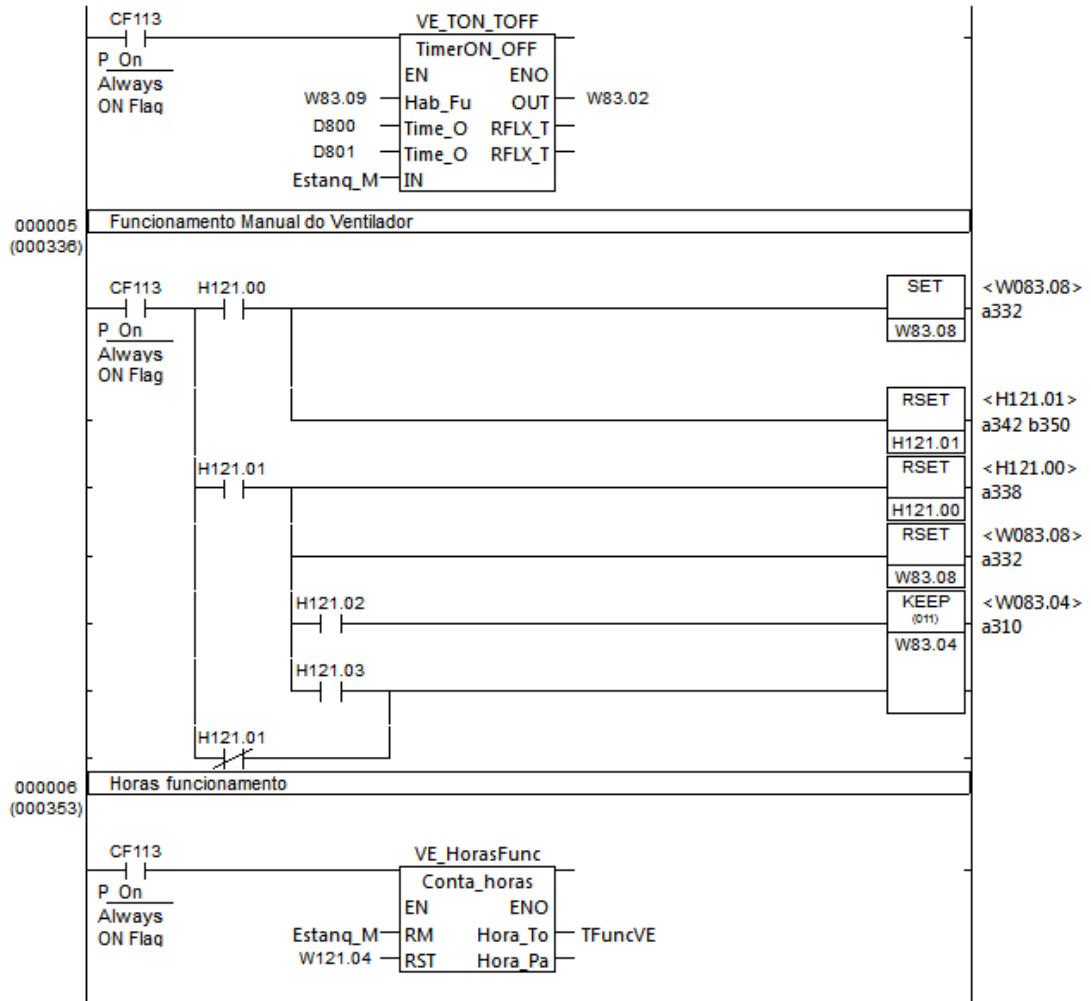
Anexo A

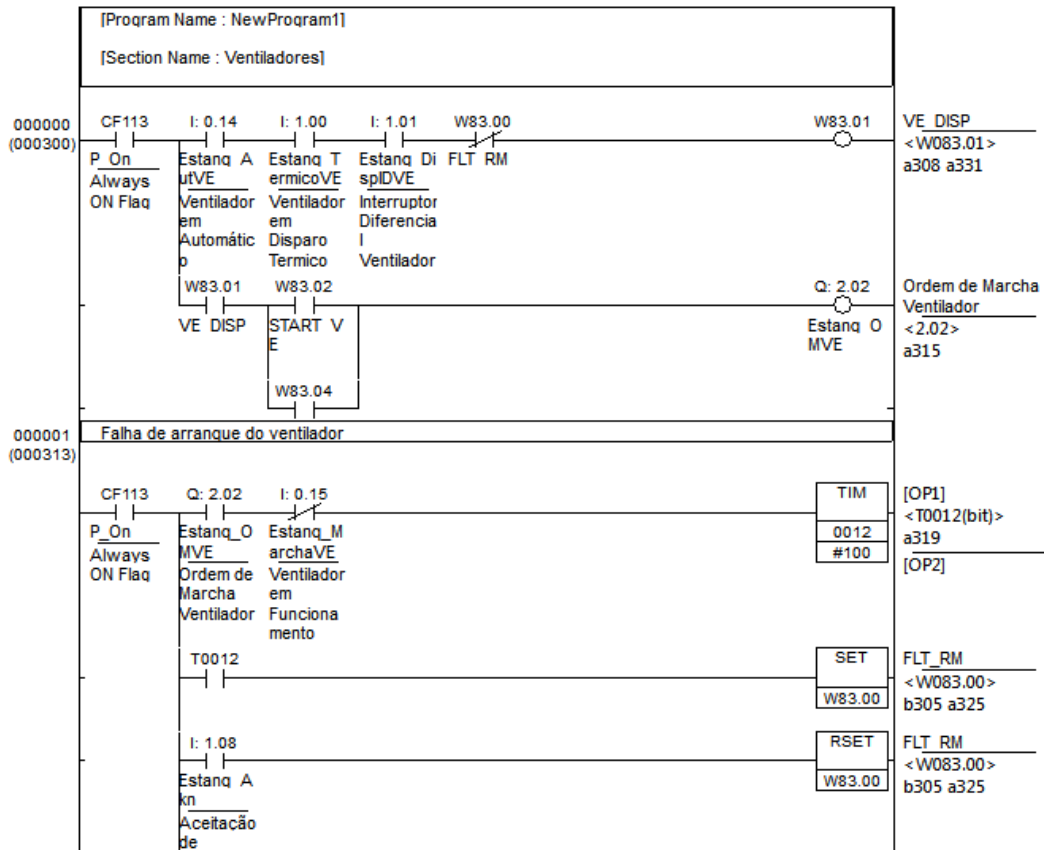
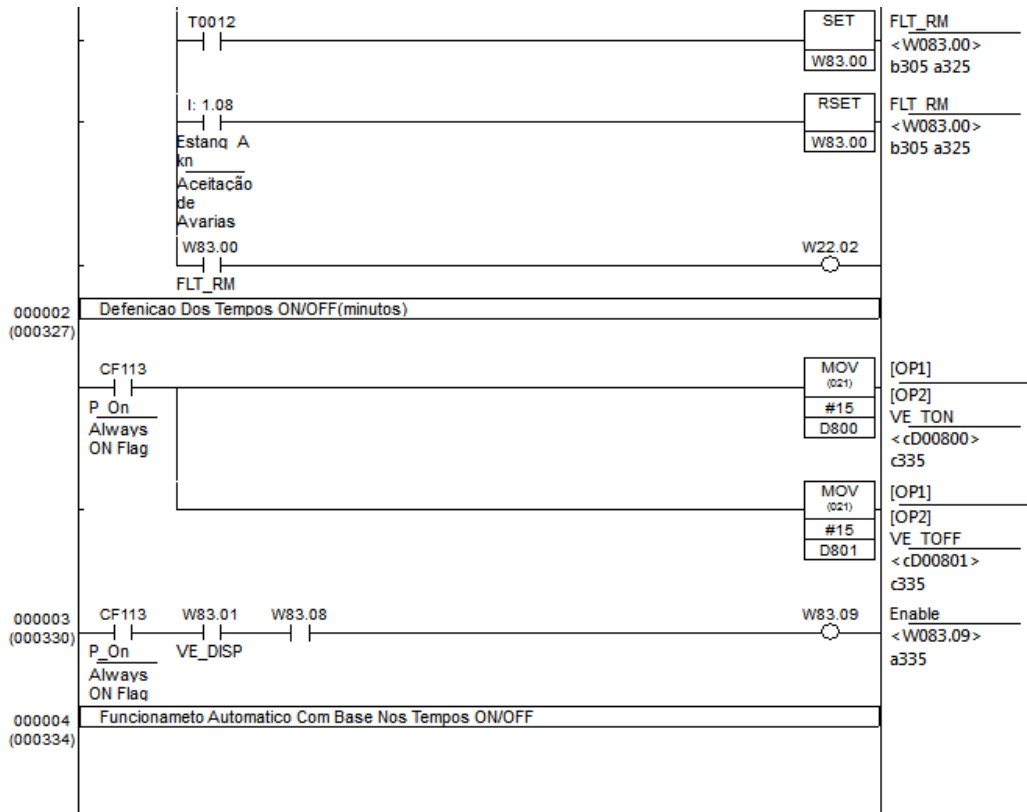
Código desenvolvido em linguagem *Ladder* para o projeto da Estação Elevatória de Estanque.

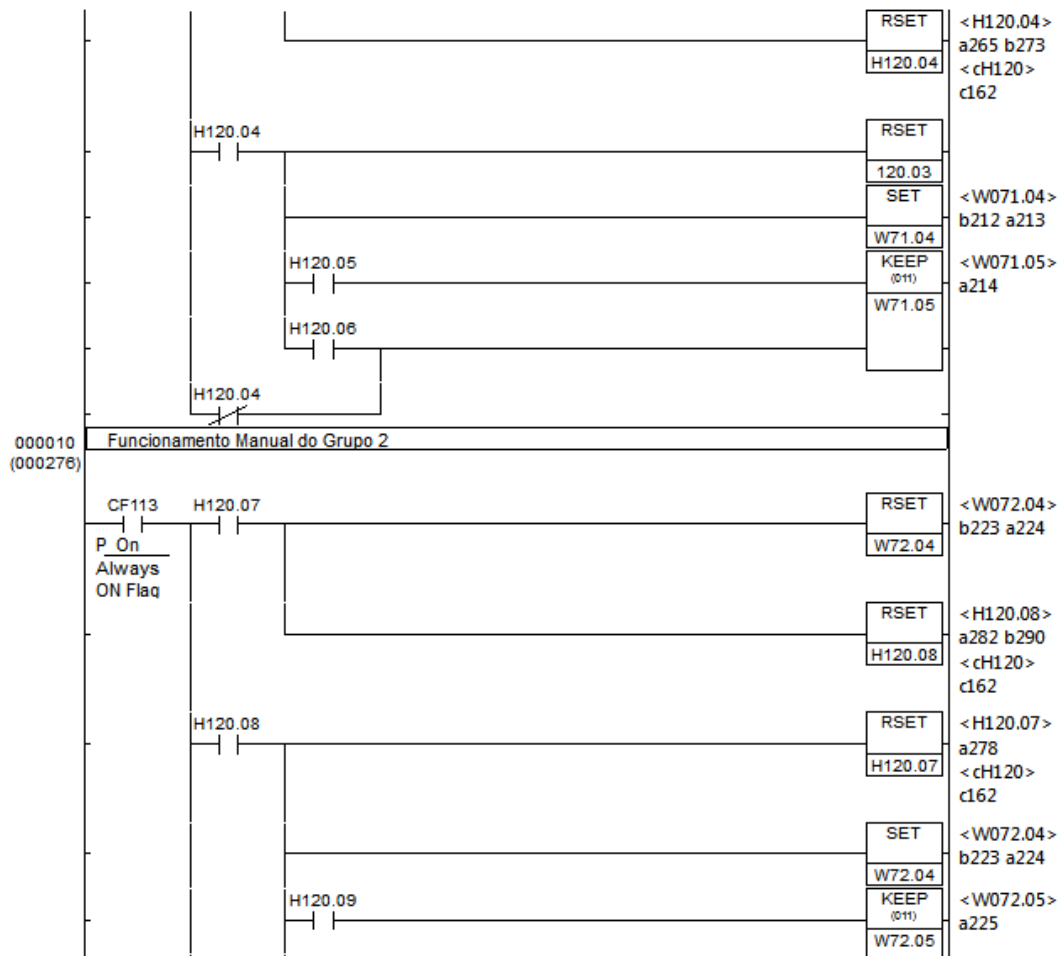
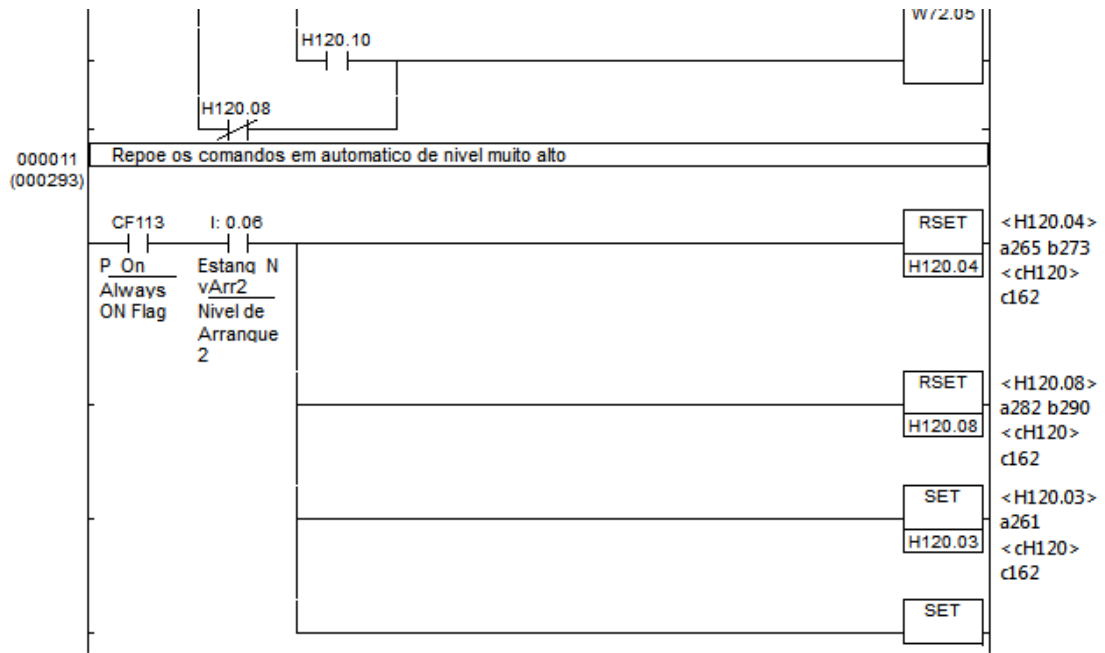


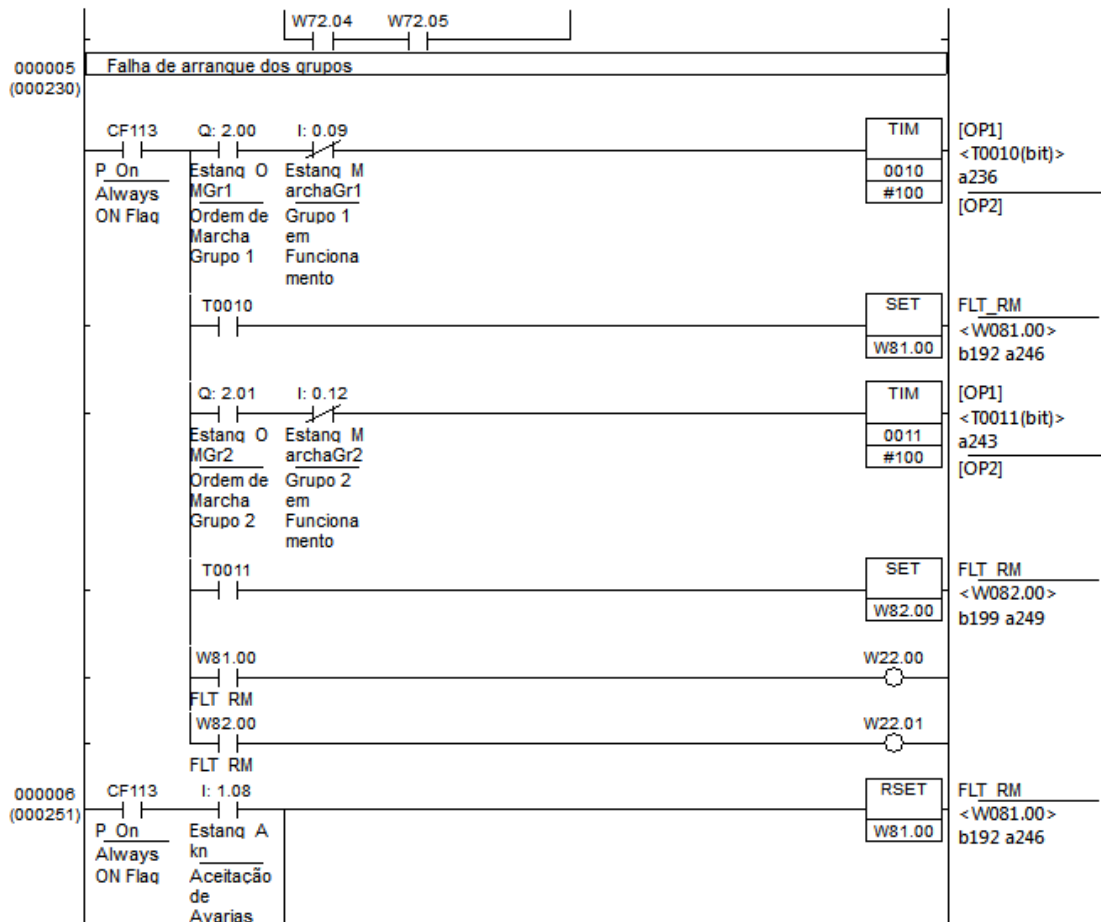
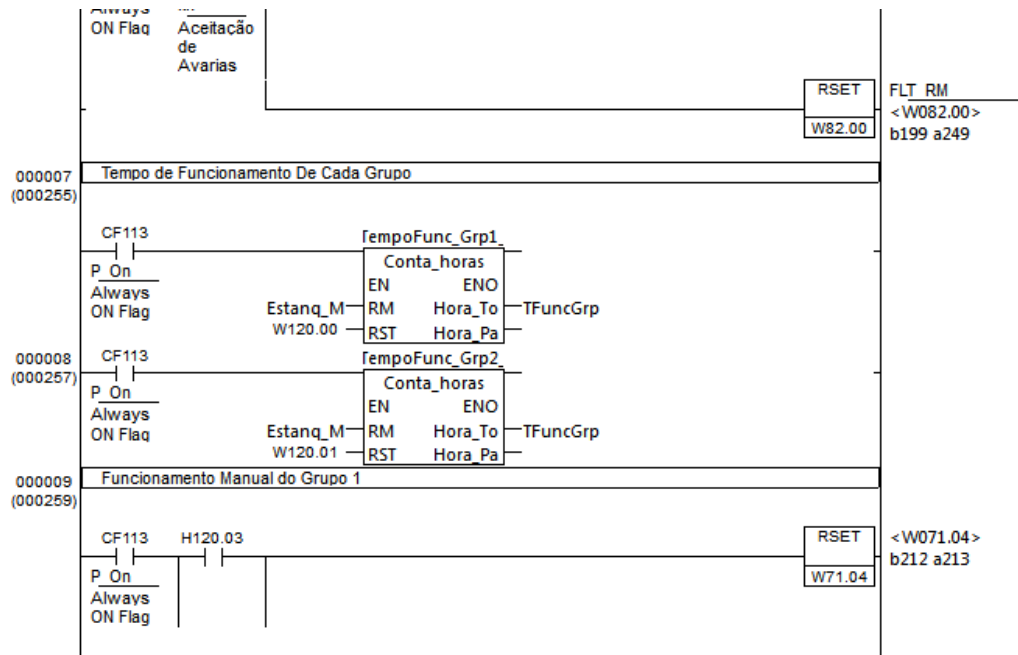


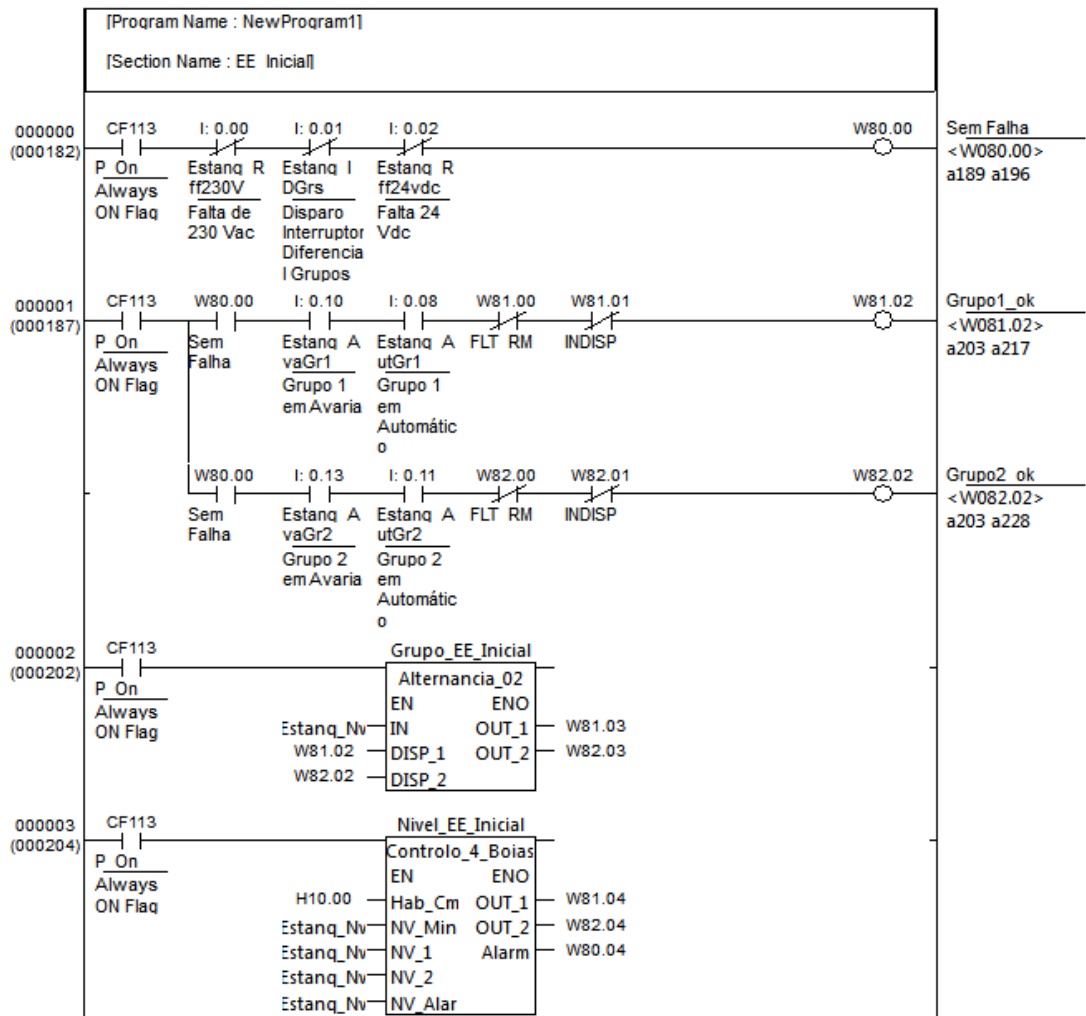
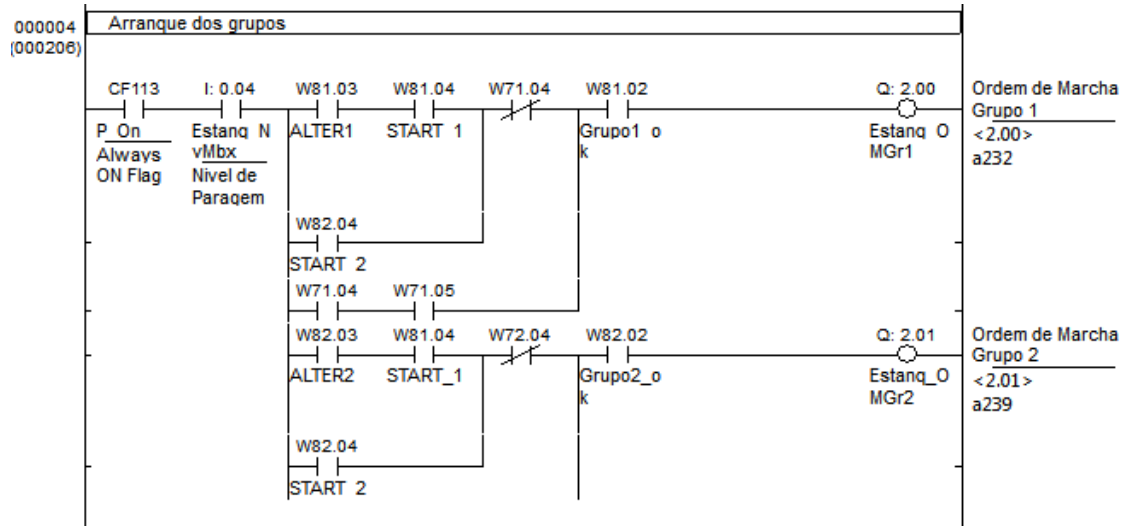


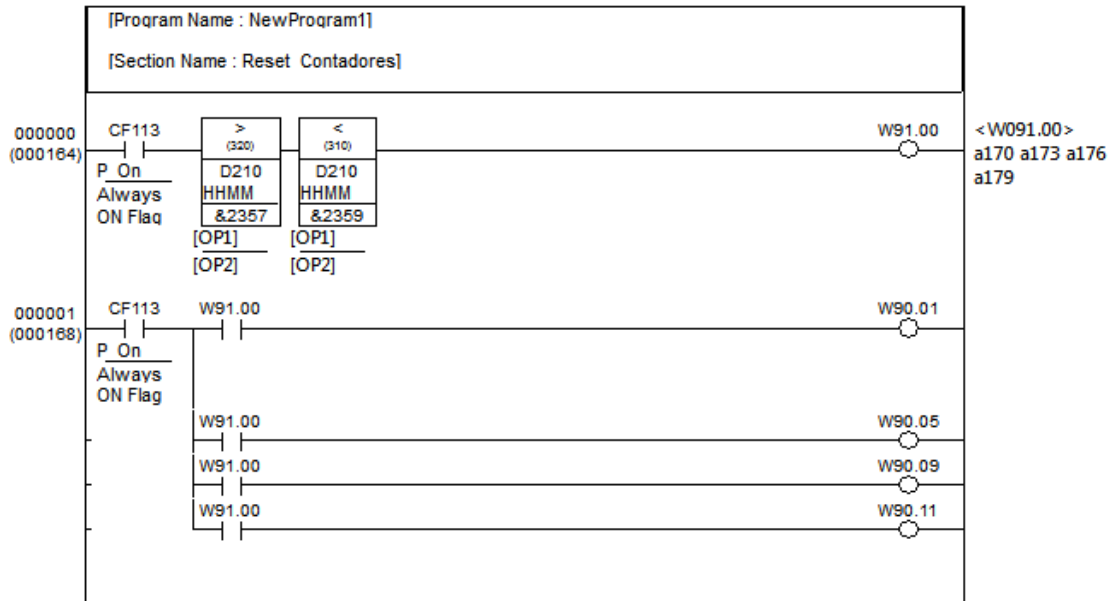


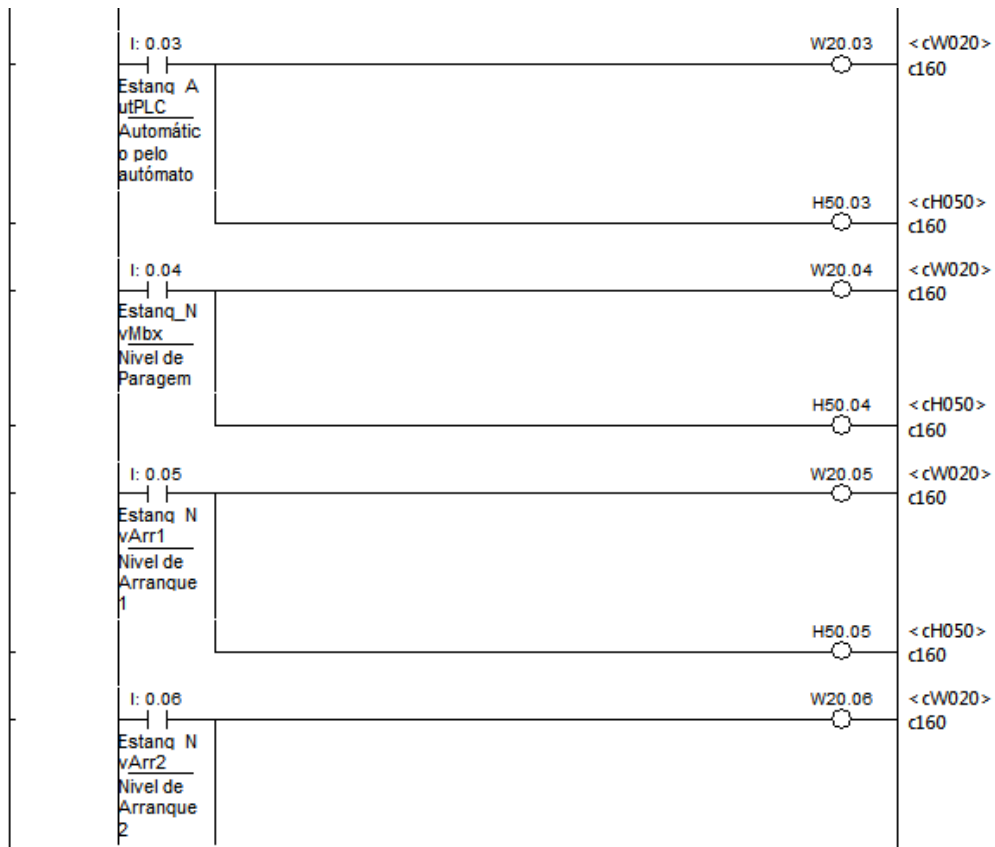
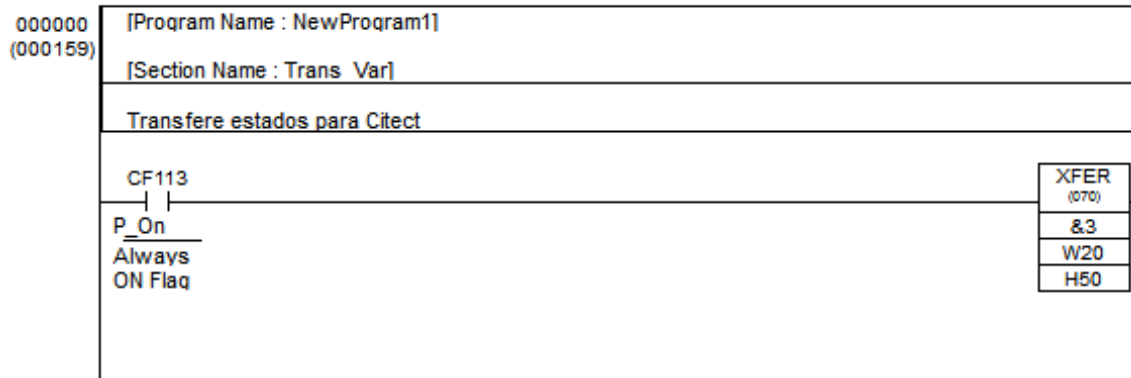
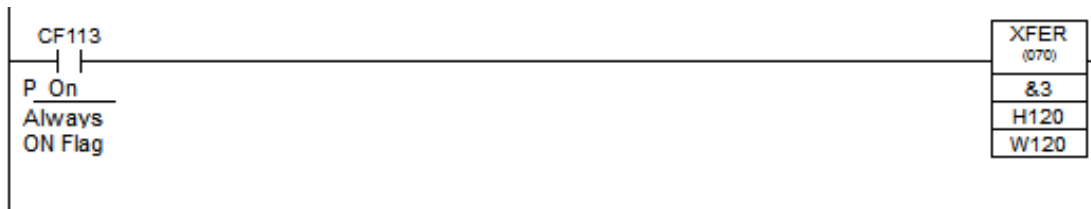


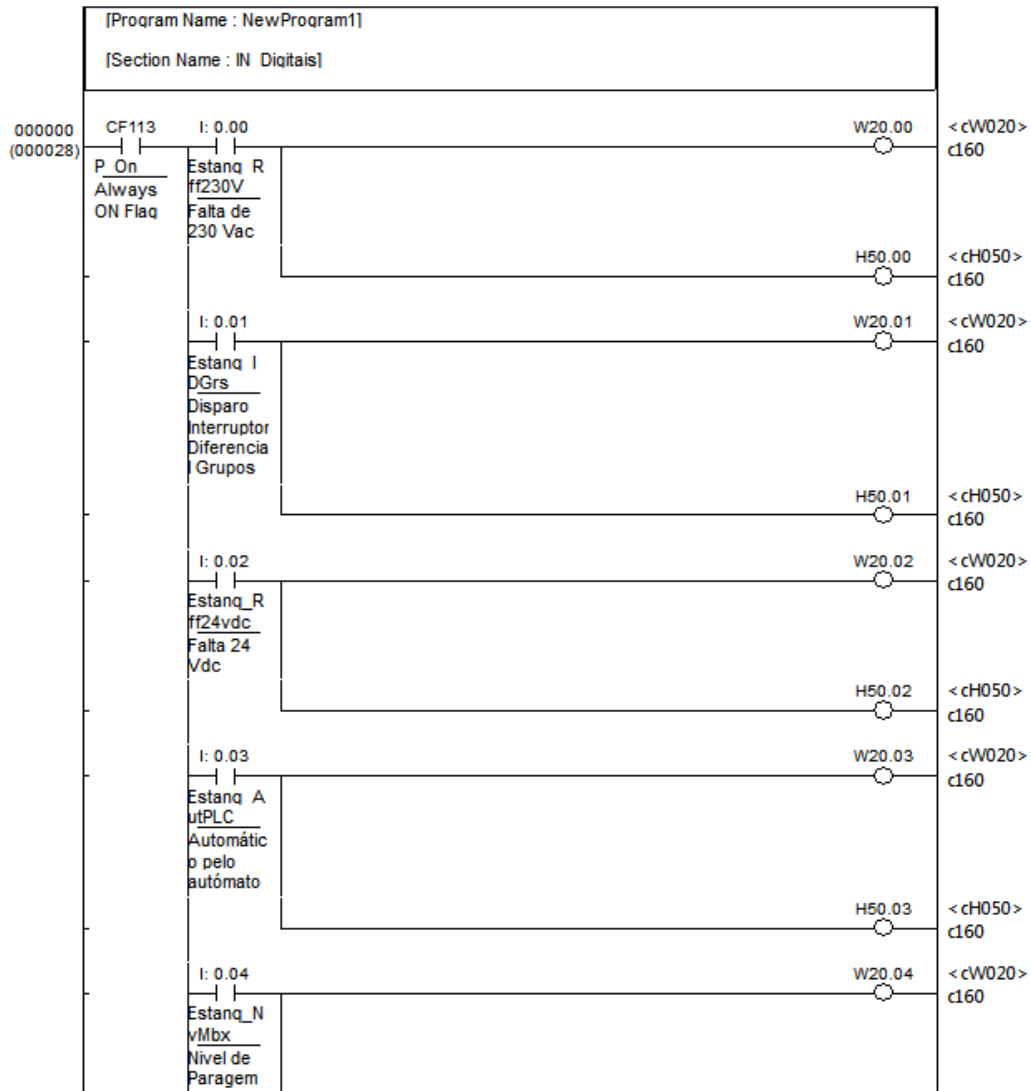


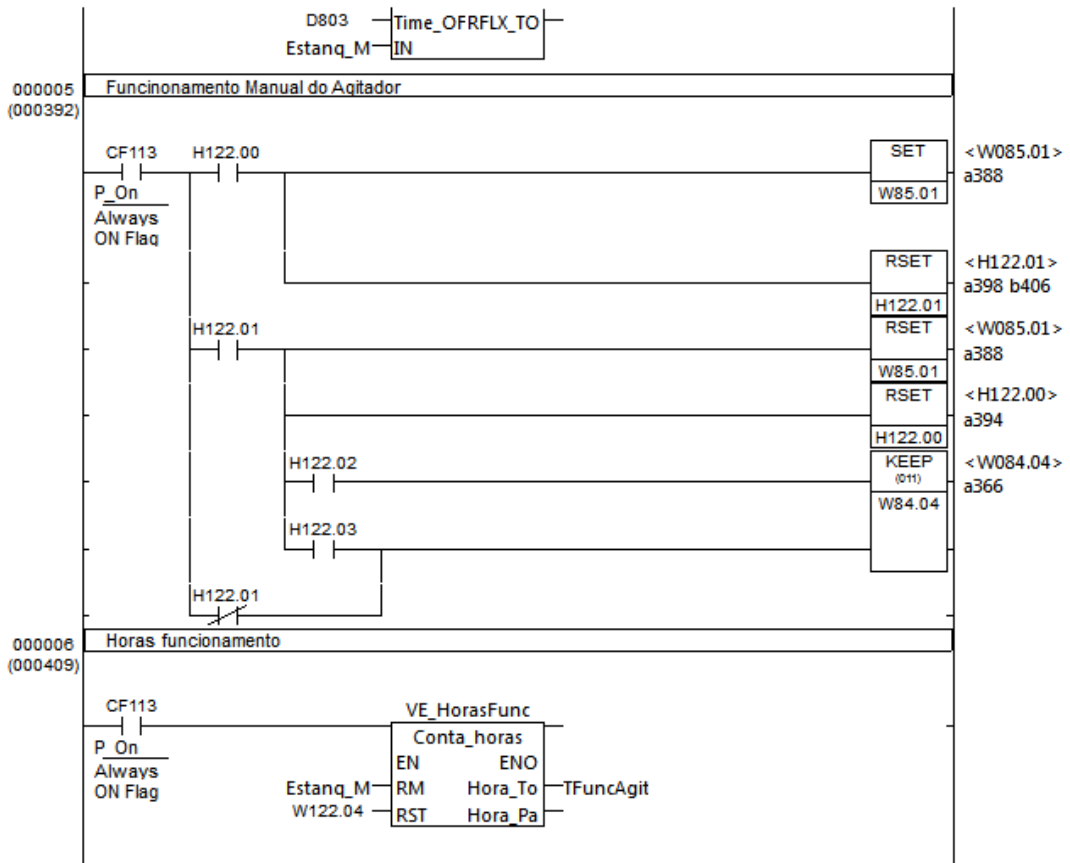






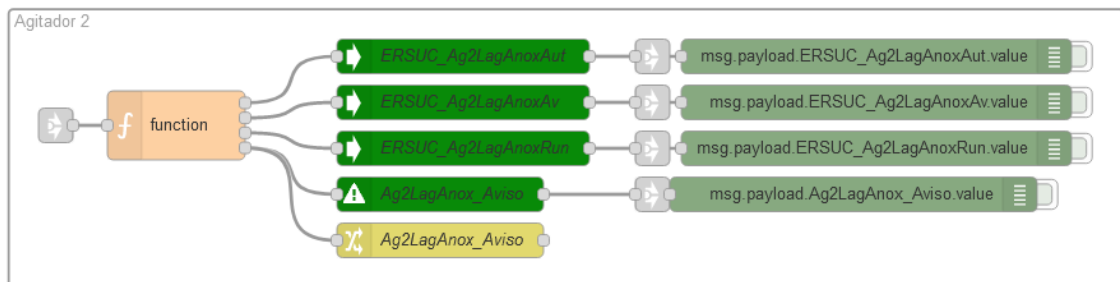
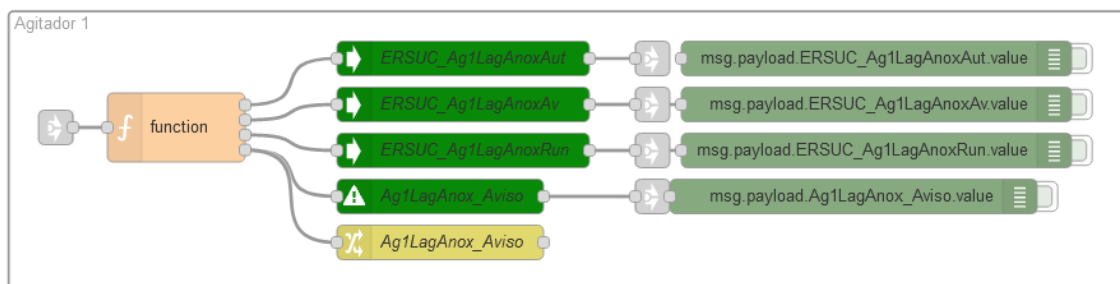
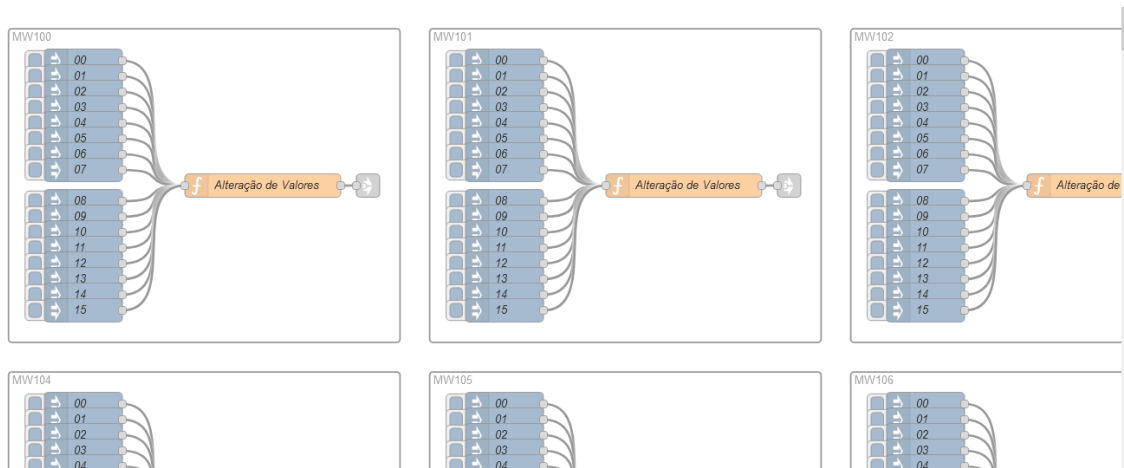
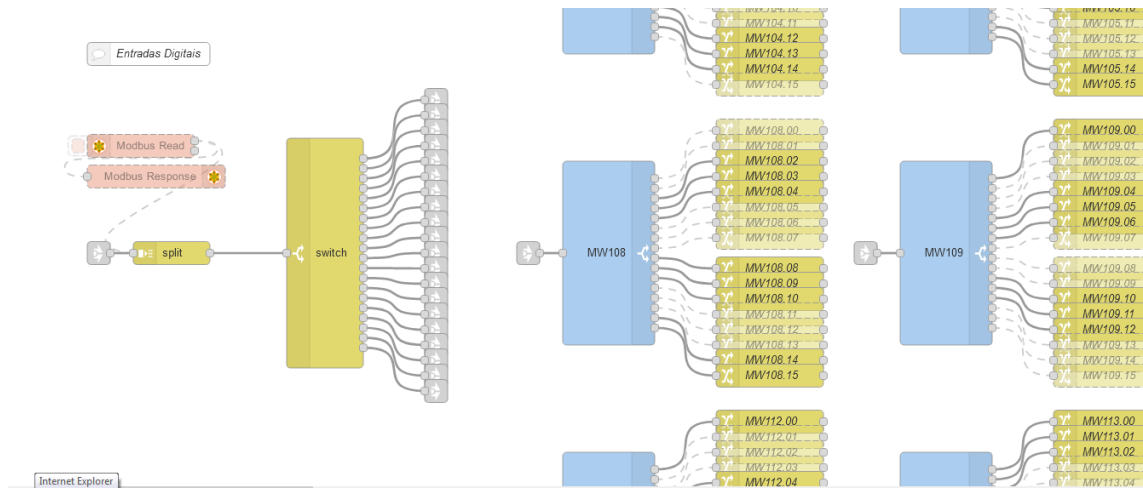


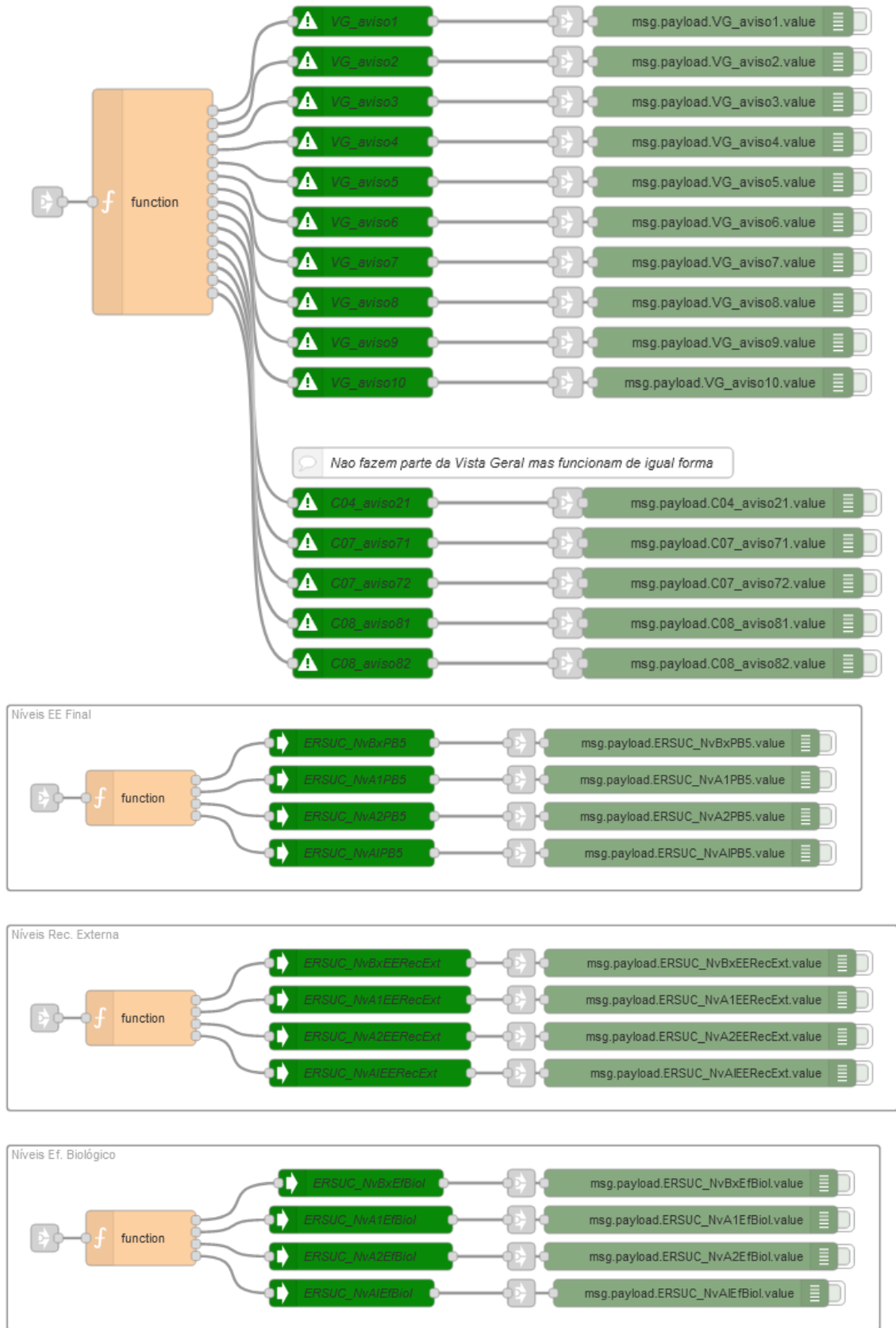


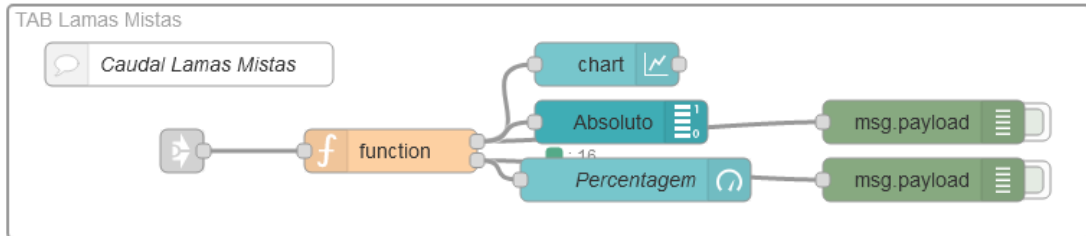
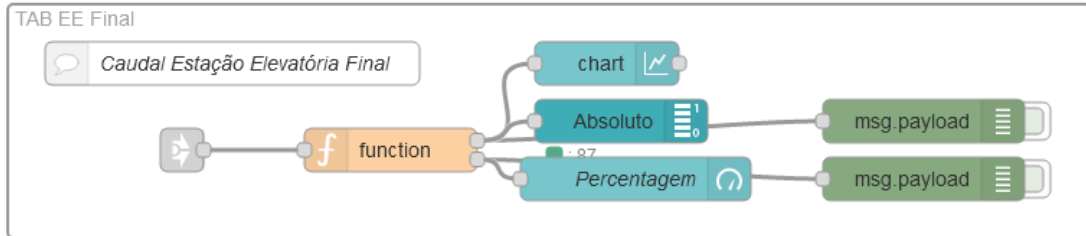
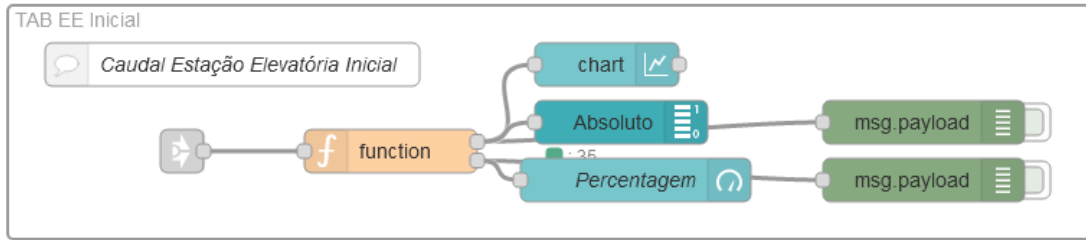
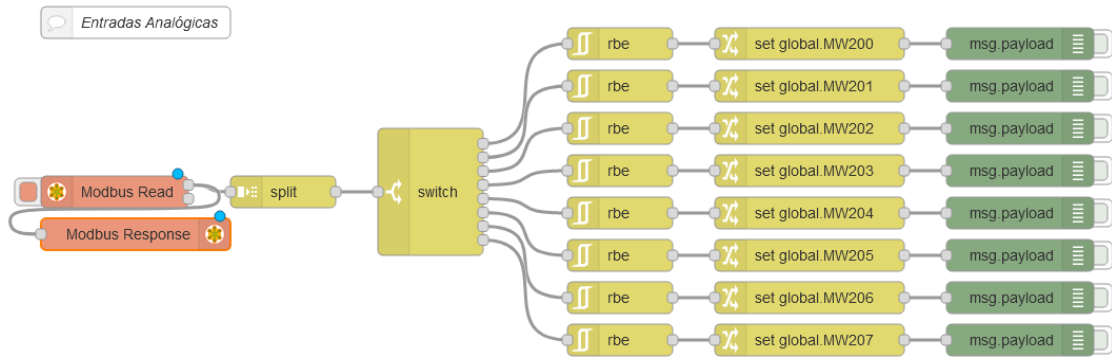


Anexo B

Flows principais criados na plataforma Node-RED e códigos incluídos nesses flows.







Alteração de valores:

```

var tp = msg.topic;

var bit00 = flow.get('bit00') || 0;
var bit01 = flow.get('bit01') || 0;
var bit02 = flow.get('bit02') || 0;
var bit03 = flow.get('bit03') || 0;
var bit04 = flow.get('bit04') || 0;
var bit05 = flow.get('bit05') || 0;
var bit06 = flow.get('bit06') || 0;
var bit07 = flow.get('bit07') || 0;
var bit08 = flow.get('bit08') || 0;
var bit09 = flow.get('bit09') || 0;
var bit10 = flow.get('bit10') || 0;
var bit11 = flow.get('bit11') || 0;
var bit12 = flow.get('bit12') || 0;
var bit13 = flow.get('bit13') || 0;
var bit14 = flow.get('bit14') || 0;
var bit15 = flow.get('bit15') || 0;
    
```

```
switch(tp){
  case '00':
    if(bit00 == 1){
      bit00 = 0;
      flow.set('bit00', bit00);
    }
    else{
      bit00 = 1;
      flow.set('estado', bit00);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit00);
    break;
  case '01':
    if(bit01 == 1){
      bit01 = 0;
      flow.set('bit01', bit01);
    }
    else{
      bit01 = 1;
      flow.set('bit01', bit01);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit01);
    break;
  case '02':
    if(bit02 == 1){
      bit02 = 0;
      flow.set('bit02', bit02);
    }
    else{
      bit02 = 1;
      flow.set('bit02', bit02);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit02);
    break;
  case '03':
    if(bit03 == 1){
      bit03 = 0;
      flow.set('estado', bit03);
    }
    else{
      bit03 = 1;
      flow.set('bit03', bit03);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit03);
    break;
  case '04':
    if(bit04 == 1){
      bit04 = 0;
      flow.set('bit04', bit04);
    }
    else{
      bit04 = 1;
      flow.set('bit04', bit04);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit04);
    break;
  case '05':
    if(bit05 == 1){
      bit05 = 0;
      flow.set('bit05', bit05);
    }

```

```

    }
    else{
        bit05 = 1;
        flow.set('bit05', bit05);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit05);
    break;
case '06':
    if(bit06 == 1){
        bit06 = 0;
        flow.set('bit06', bit06);
    }
    else{
        bit06 = 1;
        flow.set('bit06', bit06);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit06);
    break;
case '07':
    if(bit07 == 1){
        bit07 = 0;
        flow.set('bit07', bit07);
    }
    else{
        bit07 = 1;
        flow.set('bit07', bit07);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit07);
    break;
case '08':
    if(bit08 == 1){
        bit08 = 0;
        flow.set('bit08', bit08);
    }
    else{
        bit08 = 1;
        flow.set('bit08', bit08);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit08);
    break;
case '09':
    if(bit09 == 1){
        bit09 = 0;
        flow.set('bit09', bit09);
    }
    else{
        bit09 = 1;
        flow.set('bit09', bit09);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit09);
    break;
case '10':
    if(bit10 == 1){
        bit10 = 0;
        flow.set('bit10', bit10);
    }
    else{
        bit10 = 1;
        flow.set('bit10', bit10);
    }
    node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit10);

```

```
        break;
    case '11':
        if(bit11 == 1){
            bit11 = 0;
            flow.set('bit11', bit11);
        }
        else{
            bit11 = 1;
            flow.set('bit11', bit11);
        }
        node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit11);
        break;
    case '12':
        if(bit12 == 1){
            bit12 = 0;
            flow.set('bit12', bit12);
        }
        else{
            bit12 = 1;
            flow.set('bit12', bit12);
        }
        node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit12);
        break;
    case '13':
        if(bit13 == 1){
            bit13 = 0;
            flow.set('bit13', bit13);
        }
        else{
            bit13 = 1;
            flow.set('bit13', bit13);
        }
        node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit13);
        break;
    case '14':
        if(bit14 == 1){
            bit14 = 0;
            flow.set('bit14', bit14);
        }
        else{
            bit14 = 1;
            flow.set('bit14', bit14);
        }
        node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit14);
        break;
    case '15':
        if(bit15 == 1){
            bit15 = 0;
            flow.set('bit15', bit15);
        }
        else{
            bit15 = 1;
            flow.set('bit15', bit15);
        }
        node.log('Bit: ' + tp + ' estado: ' + bit15);
        break;
}
```

```

var msgString    = `${bit15}`+ `${bit14}`+ `${bit13}`+ `${bit12}`+
`${bit11}`+ `${bit10}`+ `${bit09}`+ `${bit08}`+ `${bit07}`+ `${bit06}`+
`${bit05}`+ `${bit04}`+ `${bit03}`+ `${bit02}`+ `${bit01}`+ `${bit00}`;
var msgINT16     = parseInt(msgString, 2);

node.log('String: ' + msgString + '   Int16: ' + msgINT16);

msg = {payload: msgINT16};
return msg;

```

Envio de sinais para o servidor AOA (exemplo para o cenário Agitadores):

```

var var1 = global.get('ERSUC_Ag1LagAnoxAut');
var var2 = global.get('ERSUC_Ag1LagAnoxAv');
var var3 = global.get('ERSUC_Ag1LagAnoxRun');

//Entrada negada no PLC
//if(var2 == 1)
//    var2 = 0;
//else
//    var2 = 1;
node.log('ERSUC_Ag1LagAnoxAut: ' + var1
        + '\nERSUC_Ag1LagAnoxAv' + var2
        + '\nERSUC_Ag1LagAnoxRun'+ var3    );

msg1 = {payload:var1};
msg2 = {payload:var2};
msg3 = {payload:var3};

if(var2 == 1){
    msg4 = {payload: 1};
}
else msg4 = {payload: 0};

return [msg1,msg2,msg3,msg4];

```

Envio de sinais de aviso no cenário vista geral:

```

//1 Agitadores
var var11 = global.get('Ag1LagAnox_Aviso');
var var12 = global.get('Ag2LagAnox_Aviso');

//2 Arejadores
var var21 = global.get('Arej1_Aviso');
var var22 = global.get('Arej2_Aviso');
var var23 = global.get('B1RecInt_Aviso');
var var24 = global.get('B2RecInt_Aviso');
var var25 = global.get('CompArej_Aviso');

//3 EE Final
var var31 = global.get('B1PB5_Aviso');
var var32 = global.get('B2PB5_Aviso');

//4 Efluente Biológico e Recirculação Externa e Escumas
var var41 = global.get('RecExt_Aviso');
var var42 = global.get('EfBioloExt_Aviso');
var var43 = global.get('BomEsc_Aviso');

```

```

//5 Decantador Secundário
var var51 = global.get('DecSec_Aviso');

//6 Oxidação Química 1 e Decantador Lamelar
var var61 = global.get('AgTanqNeutCal_Aviso'); //Tanque Neutralização
var var62 = global.get('AgDecLam_Aviso'); //Decantador lamelar
var var63 = global.get('B1RecTanqOxi_Aviso'); //Torre de Oxidação 1
var var64 = global.get('B2RecTanqOxi_Aviso'); //Torre de Oxidação 2
var var65 = global.get('BDAntiEsp_Aviso'); //Bomba Anti Espuma

//7 Polieletrólito, Neutralização Química e Soprador
var var71 = global.get('AgPoli_Aviso');
var var72 = global.get('BDPoli_Aviso');
var var73 = global.get('AgTanqNAoh_Aviso');
var var74 = global.get('AgTanqCal_Aviso');
var var75 = global.get('SopS1_Aviso');
var var76 = global.get('B1NaOH_Aviso');
var var77 = global.get('B2NaOH_Aviso');
var var78 = global.get('B1Cal_Aviso');
var var79 = global.get('B2Cal_Aviso');

//8 EE Inicial
var var81 = global.get('B1EEI_Aviso');
var var82 = global.get('B2EEI_Aviso');

//9 Tanque ácido fosfórico
var var91 = global.get('BDH3PO4_Aviso');
var var92 = global.get('AgH3PO4_Aviso');

//10 Oxidação Química
var var101 = global.get('H2O2_Aviso');
var var102 = global.get('FeCl3_Aviso');
var var103 = global.get('H2SO4_Aviso');

var VG_avisol;
var VG_avisol2;
var VG_avisol3;
var VG_avisol4;
var VG_avisol5;
var VG_avisol6;
var VG_avisol7;
var VG_avisol8;
var VG_avisol9;
var VG_avisol10;

var C04_avisol21;
var C07_avisol71;
var C07_avisol72;
var C08_avisol81;
var C08_avisol82;

//-----
//-----
if(var11 == 1 || var12 == 1)
    VG_avisol = 1;
else
    VG_avisol = 0;
//-----
//-----

if(var21 == 1 || var22 == 1 || var23 == 1 || var24 == 1 || var25 == 1)
    VG_avisol2 = 1;

```

```

else
    VG_avisos2 = 0;
//-----
//-----
if(var31 == 1 || var32 == 1)
    VG_avisos3 = 1;
else
//-----
//----- VG_avisos3 = 0;

if(var41 == 1 || var42 == 1 || var43 == 1)
    VG_avisos4 = 1;
else
    VG_avisos4 = 0;
//-----
//-----

if(var51 == 1)
    VG_avisos5 = 1;
else
    VG_avisos5 = 0;
//-----
//-----

if(var61 == 1 || var62 == 1 || var63 == 1 || var64 == 1 || var65 == 1)
    VG_avisos6 = 1;
else
    VG_avisos6 = 0;
//-----
//-----

if(var71 == 1 || var72 == 1 || var73 == 1 || var74 == 1 || var75 == 1 ||
var76 == 1 || var77 == 1 || var78 == 1 || var79 == 1)
    VG_avisos7 = 1;
else
    VG_avisos7 = 0;
//-----
//-----

if(var81 == 1 || var82 == 1)
    VG_avisos8 = 1;
else
    VG_avisos8 = 0;
//-----
//-----

if(var91 == 1 || var92 == 1)
    VG_avisos9 = 1;
else
    VG_avisos9 = 0;
//-----
//-----

if(var101 == 1 || var102 == 1 || var103 == 1)
    VG_avisos10 = 1;
else
    VG_avisos10 = 0;
//-----
//-----

//OUTROS

//2.1 Só para Rec.Interna
if(var23 == 1 || var24 == 1 || var25 == 1)
    C04_avisos21 = 1;
else

```

```

    C04_avisos21 = 0;
//-----

//7.1 Só Bombas Cal
if(var78 == 1 || var79 == 1)
    C07_avisos71 = 1;
else
    C07_avisos71 = 0;
//-----

//7.2 Só para Bombas NaOH
if(var76 == 1 || var77 == 1)
    C07_avisos72 = 1;
else
    C07_avisos72 = 0;
//-----

//8.1 Só para Tanque Neut e Bomba Anti Espuma.
if(var61 == 1 || var65 == 1)
    C08_avisos81 = 1;
else
    C08_avisos81 = 0;
//-----

//8.1 Só para Torres de Oxidação.
if(var63 == 1 || var64 == 1)
    C08_avisos82 = 1;
else
    C08_avisos82 = 0;
//-----

msg1 = {payload:VG_avisos1};
msg2 = {payload:VG_avisos2};
msg3 = {payload:VG_avisos3};
msg4 = {payload:VG_avisos4};
msg5 = {payload:VG_avisos5};
msg6 = {payload:VG_avisos6};
msg7 = {payload:VG_avisos7};
msg8 = {payload:VG_avisos8};
msg9 = {payload:VG_avisos9};
msg10 = {payload:VG_avisos10};

msg21 = {payload:C04_avisos21};
msg71 = {payload:C07_avisos71};
msg72 = {payload:C07_avisos72};
msg81 = {payload:C08_avisos81};
msg82 = {payload:C08_avisos82};

return
[msg1,msg2,msg3,msg4,msg5,msg6,msg7,msg8,msg9,msg10,msg21,msg71,msg72,msg
81,msg82];

```

Exemplo de função de envio de dados para um *widget* do *dashbaord*:

```
var abslt = global.get('MW200')||0;
var pctg;
var msg1,msg2;
var max =60;

pctg = (abslt*100)/max;

msg1 = {payload:abslt};
msg2 = {payload:pctg};

return [msg1,msg2];
```