

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**FEUP**

**Desenvolvimento de modelo de ensaio de  
Sistemas de Protecção, Comando e Controlo  
Numérico (SPCC) em Dispositivos Electrónicos  
Inteligentes (IED) utilizando o *software*  
OMICRON “Test Universe”**

Bruno César Dias Sampaio

Relatório de Projecto realizado no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. José Rui da Rocha Pinto Ferreira

Julho 2009

© Bruno César Dias Sampaio, 2009

# Resumo

Este documento faz parte do relatório denominado "Desenvolvimento de modelo de ensaio de Sistemas de Protecção Comando e Controlo Numérico (SPCC) em Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED), utilizando o *software* *OMICRON - "Test Universe"* no âmbito do Projecto Final do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Major de energia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A necessidade de inovar tornou-se num grande desafio da nossa sociedade, tendo a engenharia um papel fundamental na investigação e desenvolvimento que permitam acompanhar a evolução da tecnologia.

No actual sistema eléctrico de energia, a eficiência da aparelhagem que o compõe é garantia de uma boa qualidade de serviço. Em qualquer actividade profissional ou lúdica a execução das tarefas tende a ser optimizada e cada vez mais precisa.

No decorrer das actividades efectuadas pela "SISINT", mais concretamente, no que diz respeito aos ensaios de comissionamento das subestações AT/MT da "*EDP - Energias de Portugal*", surgiu a necessidade de trabalhar neste sentido.

Nesta perspectiva este projecto aborda separadamente os ensaios de cada painel tipo que compõem uma subestação AT/MT de distribuição:

- Configurações de hardware;
- Entradas binárias;
- Saídas binárias;
- Medidas analógicas;
- Funções de protecção;
- Funções de automatismo de religação.

Este projecto visa proceder a uma evolução na metodologia de ensaio dos sistemas de protecção comando e controlo (SPCC) das subestações de distribuição, proporcionando uma optimização dos ensaios, automatização da sua execução e rigor na obtenção dos resultados.



# Abstract

This document is part of the report named “Development of test model in System Protection Command and Control in Intelligent Electronic Devices, using *OMICRON - Test Universe*” under the Final Project of the Integrated Master in Electrical and Computers Engineering, Major Power Systems, Engineering School, University of Porto

The need to innovate has become one of the great challenges of our society, and Engineering plays a key role in research and development, allowing us to go along with the world’s progress.

In our actual electrical power system, the efficiency of its equipment ensures a quality service, and as in any activity, professional or leisure, tasks tend to be optimized and more precise. Therefore, during the daily tasks made by “SISINT”, specifically, what concerns commissioning testing of AT/MT substations from “*EDP - Energias de Portugal*”, the need to work in this direction has arisen.

In this perspective, this project addresses, separately, the testing of each type panel that comprises a substation AT/MT of distribution:

- Hardware configurations
- Binary inputs
- Binary outputs
- Analogue measurements
- Protection functions
- Functions of autoreclose automatism

This project aims to achieve a development in the testing methodology of protection command and control systems (PCCS) in distribution substations, allowing an optimization of the testing, automation in its implementation and accuracy in achieving results.



# Agradecimentos

Uma dissertação é um trabalho individual, contudo sem a ajuda e o apoio incondicional de algumas pessoas com significado especial a sua realização tornar-se-ia bem mais complexa.

Desta forma deixo uma palavra de apreço e gratidão aos familiares mais próximos, meus pais e meu irmão por toda a disponibilidade, tolerância e preocupação a mim demonstradas. O meu muito obrigado, pois desde sempre me demonstraram a importância da realização académica e é a eles que devo tudo o que sou hoje. Obrigado por me inculcarem este sentido de vida.

Não posso esquecer também a pessoa que está mais ligada a mim e quero agradecer-lhe por ter estado sempre presente nestes momentos difíceis em que por vezes me deixei levar pelo nervosismo e ansiedade - Obrigado Daniela.

Obrigado a todos meus amigos que, distantes ou não, me ajudaram de uma forma ou de outra a alcançar este objectivo. Em especial à Cláudia Amaro.

Aos engenheiros Fernando Santos e Rui Marçal (SIEMENS), o meu sincero agradecimento por me terem disponibilizado material de apoio, indispensável à realização deste trabalho.

À SISINT, por me ter possibilitado desenvolver e pôr em prática este projecto e à Siemens por ter aberto a possibilidade de implementar este sistema no comissionamento dos Sistemas de Protecção Comando e Controlo das Subestações da EDP

Sem esquecer os vários professores desta Faculdade por me terem dado as bases necessárias que permitiram, de certa forma, agarrar este projecto.



# Índice

<b>Resumo</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>xv</b>
<b>Abreviaturas e Símbolos</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>1</b>
Introdução.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objectivos.....	2
1.3. Fundamento da evolução.....	3
1.4. Estrutura do Relatório .....	4
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>5</b>
Subestação AT/MT .....	5
2.1. Parque Exterior da Aparelhagem .....	6
2.1.1. Transformador de potência .....	6
2.1.2. Linha .....	6
2.1.3. Seccionador .....	6
2.1.4. Disjuntor .....	7
2.1.5. Isolador .....	7
2.1.6. Descarregador de Sobretensões.....	7
2.1.7. Transformadores de Medida .....	8

2.1.7.1.	Transformador de Tensão.....	8
2.1.7.2.	Transformador de Intensidade.....	8
2.1.8.	Cabo de média Tensão .....	8
2.2.	Edifício de Comando .....	9
2.2.1.	Quadro Metálico .....	9
2.2.2.	Serviços auxiliares de tensão alterna .....	9
2.2.3.	Serviços auxiliares de tensão contínua .....	10
2.2.4.	Rectificador .....	10
2.2.5.	Baterias de tensão contínua.....	10
2.2.6.	Contagem .....	10
2.2.7.	Comunicações .....	10
2.2.8.	Posto de comando local .....	10
2.2.9.	Painel AT.....	11
2.3.	Quadro de Média Tensão .....	11
2.3.1.	Função de cada tipo de cela .....	11
2.3.1.1.	Chegada do Transformador de Potência .....	11
2.3.1.2.	Linha MT .....	12
2.3.1.3.	Bateria de Condensadores .....	12
2.3.1.4.	Transformador de Serviços Auxiliares .....	12
2.3.1.5.	Interbarras.....	12
2.3.1.6.	Potencial de Barras .....	12
2.4.	Sistema de Protecções, Comando e Controlo .....	13
2.4.1.	Unidade de Gestão Central ( <i>UGC</i> ).....	13
2.4.2.	Sistema de visualização e comando ( <i>Posto Comando Loca (PCL)</i> ) .....	14
2.4.3.	Dispositivos Electrónicos Inteligentes.....	16
2.4.3.1.	Entradas analógicas .....	17
2.4.3.2.	Entradas e saídas binárias .....	18
2.4.3.3.	Interface frontal.....	19
2.4.3.4.	Sistema de comunicações.....	20
<b>Capítulo 3</b>	<b>.....</b>	<b>23</b>
Mala de ensaios .....		23
3.1.	Características .....	23
3.1.1.	Saídas de tensão .....	24
3.1.2.	Saídas de corrente .....	24
3.1.3.	Entradas binárias .....	24
3.1.4.	Configuração de hardware.....	25
3.2.	<i>Software</i> - “Test Universe” .....	26

3.2.1.	QuickCMC .....	26
3.2.2.	Overcurrent.....	27
3.2.2.1.	Critérios de avaliação .....	27
3.2.2.2.	Aplicações .....	28
3.2.3.	Verificador de estados.....	28
3.2.3.1.	Critérios de avaliação .....	28
3.2.3.2.	Aplicações .....	28
3.2.4.	Ramping .....	29
3.2.4.1.	Critérios de avaliação .....	29
3.2.4.2.	Aplicações .....	30
3.2.5.	State Sequencer .....	30
3.2.5.1.	Critérios de avaliação .....	30
3.2.5.2.	Aplicações .....	31
<b>Capítulo 4</b>	<b>.....</b>	<b>33</b>
	Modelo de ensaio .....	33
4.1.	Estrutura .....	34
4.2.	Painel de Linha MT .....	36
4.2.1.	Configuração do equipamento em teste .....	36
4.2.2.	Configuração de hardware .....	37
4.2.3.	Entradas digitais .....	38
4.2.4.	Saídas Digitais .....	39
4.2.5.	Medidas analógicas .....	39
4.2.6.	Funções de protecção .....	40
4.2.6.1.	Máximo de Intensidade de Fase (MIF).....	40
4.2.6.2.	Máximo de Intensidade Homopolar (Direccional) .....	47
4.2.6.3.	Pesquisa de Terras Resistentes .....	49
4.2.6.4.	Condutor Partido .....	51
4.2.6.5.	Automatismo de religação .....	51
<b>Capítulo 5</b>	<b>.....</b>	<b>57</b>
	Conclusões e trabalhos futuros.....	57
5.1.	Conclusões .....	57
5.2.	Trabalhos futuros .....	58
<b>Referências</b>	<b>.....</b>	<b>59</b>
<b>Anexos</b>	<b>.....</b>	<b>61</b>
	Relatório de testes .....	61



# Lista de Figuras

<i>Figura 2.1 - Subestação AT/MT</i> .....	5
<i>Figura 2.2 - Arquitectura geral de comunicação [14]</i> .....	13
<i>Figura 2.3 - Esquema unifilar disponibilizado pelo PCL</i> .....	14
<i>Figura 2.4 - Lista de eventos da subestação</i> .....	15
<i>Figura 2.5 - Página para comutação dos automatismos individuais</i> .....	16
<i>Figura 2.6 - Entradas analógicas da unidade de protecção 7SJ64 [10]</i> .....	17
<i>Figura 2.7 - Entradas e saídas binárias da unidade de protecção 7SJ612 [10]</i> .....	19
<i>Figura 2.8 - Unidade de protecção 7SJ64</i> .....	20
<i>Figura 2.9 - Arquitectura de comunicação [14]</i> .....	21
<i>Figura 3.1 - Comunicação entre Omicron CMC356 e o Computador é efectuado por Ethernet [2]</i> .....	23
<i>Figura 3.2 - CMC 356: Módulos de saída de tensão 4 x 300V [2]</i> .....	24
<i>Figura 3.3 - CMC 356: Módulos de saída de corrente 6 x 32A / 3 x 64A / 1 x 128A [2]</i> .....	24
<i>Figura 3.4 - CMC 356: Módulos de entradas binárias [2]</i> .....	25
<i>Figura 3.5 - Vista frontal da CMC 356 com a individualização das entradas e saídas [5]</i> .....	25
<i>Figura 3.6 - Exemplo da configuração de entradas binárias utilizadas no painel de Linha MT26</i>	
<i>Figura 3.7 - “QuickCMC”: layout de teste e diagrama vectorial</i> .....	27
<i>Figura 3.8 - Módulo “Overcurrent” utilizado no painel de Linha MT definido com 3 patamares de actuação e vários pontos de disparo</i> .....	28
<i>Figura 3.9 - Módulo de verificador de avisos utilizado no painel de linha MT, associado às entradas binárias com o teste de painel em ensaio seleccionado e à espera de aprovação...</i>	29
<i>Figura 3.10 - Exemplo de teste de rampa utilizado, com zona de actuação pré definida para 1A, com o critério de avaliação a ser satisfeito. Variável de estado de arranque MIF transitou para o valor lógico de 1 precisamente nesse instante</i> .....	30
<i>Figura 3.11 - State Sequencer: critério de avaliação baseado na avaliação do nível. Neste caso não se verifica um total cumprimento das condições de validação. Existem duas variáveis que não satisfazem a condição de estado aquando do “Defeito MIF-I&gt;”</i> .....	31

<i>Figura 3.12 - “State Sequencer”: exemplo de utilização de uma sequência de quatro estados, responsáveis pelo ensaio de uma função de religação. Neste modo de visualização apenas são perceptíveis as definições de saídas de cada estado bem como o tempo de permanência respectivo .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.1 - Estrutura do modelo de teste utilizado na LINHA MT .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.2 - Parametrização utilizada para defeitos de MIF com três patamares de actuação</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.3 - Parametrização utilizada para defeitos de MIH com três patamares de actuação .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.4 - Configuração de hardware utilizada no modelo de testes do painel de Linha MT</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.5 - Entradas digitais e respectivos LED`s configuradas no painel de Linha MT .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4.6 - Saídas digitais e respectivos LED`s configuradas no painel de Linha MT .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4.7 - Medidas analógicas do Painel de Linha MT .....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 4.8 - Critério de avaliação para o teste de “Overcurrent” .....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.9 - Critério de avaliação para a determinação da mínima corrente de operação para um defeito fase-fase .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.10 - Número de estados definidos no “State Sequencer” para determinação do tempo de actuação da função de MIF .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.11 - Definição de permanência num estado de forma temporizada juntamente com a utilização da condição de uma entrada binária.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4.12 - Critério de avaliação para a determinação do tempo de operação para a função MIF. Exemplo de teste não aprovado .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4.13 - Disposição dos estados referentes ao teste de "Arranque a frio" .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.14 - Critérios de avaliação para o teste de "Arranque a Frio" .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4.15 - Definição dos parâmetros da rampa de verificação de direccionalidade da função .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4.16 - Exemplo ilustrativo da actuação da função direccional em função do ângulo de defasamento entre corrente e tensão.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4.17 - Definição de alguns pontos de actuação solicitados pelo modelo de ensaio.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.18 - Curva de PTR pré-definida e ilustração onde serão introduzidos os tempos de operação obtidos nos pontos estabelecidos no modelo de teste .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4.19 - Sequência de testes para confirmação da actuação da religação rápida por função de protecção .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.20 - Critério de avaliação para o ciclo de religação RLL, para um defeito MIF.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4.21 - Sequência de testes para certificar interacção de funções durante o ciclo de religação .....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4.22 - Condições que implicam a interrupção da função de automatismo.....</i>	<i>55</i>

# Lista de Tabelas

<i>Tabela 3.1 - Definição do grupo de settings</i>	35
<i>Tabela 3.2 - Quadro resumo da aplicação de cada função de protecção nas diversas condições de exploração</i>	40
<i>Tabela 3.3 - Esquema de actuação da função de religação</i>	51



# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

AR	Auto Religação
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
DST	Descarregador de sobretensões
EDP	Energias de Portugal
IED	Dispositivo Electrónico Inteligente
IHM	Interface Homem Máquina
MT	Média Tensão
MIF	Máximo de Intensidade de Fase
MIH	Máximo de Intensidade Homopolar
MIHD	Máximo de Intensidade Homopolar Direccional
MQST	Monitorização e Qualidade dos Serviços Técnicos
PRE	Produtor em regime especial
PCL	Posto de Comando Local
REE	Regime Especial de Exploração
RR	Religação Rápida
RLL	Rápida Lenta Lenta
SPCC	Sistemas de Protecção Comando e Controlo
Tarr	Tempo de arranque
TP	Transformador de potência

TI	Transformador de Intensidade de corrente
TT	Transformador de Tensão
UGC	Unidade de Gestão Central

## Símbolos

A	Ampere
ms	Milissegundos
s	Segundos
V	Volts

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

Nas sociedades mais industrializadas e tecnologicamente mais desenvolvidas, a energia eléctrica assume um papel preponderante para o seu desenvolvimento económico-social. Neste contexto os aspectos da qualidade e continuidade do serviço de fornecimento de energia são objecto de grande estudo e rigor na sua implementação.

Nesta perspectiva os sistemas de protecção desempenham um papel preponderante na segurança do fornecimento de energia eléctrica, uma vez que, além de permitirem detectar a ocorrência de anomalias na operação das redes de energia, também limitam as consequências que daí advêm.

### 1.1. Enquadramento

A SISINT é uma empresa sediada em Vila Nova de Gaia cujo departamento de Automação e Controlo é responsável, entre outras actividades, pelo projecto e comissionamento dos Sistemas de Protecção Comando e Controlo Numérico (SPCC) de média tensão em subestações AT/MT da EDP Distribuição equipadas com Equipamentos Electrónicos Inteligentes (*IED*) da SIEMENS.

No actual sistema de exploração do sistema eléctrico de energia, as unidades de protecção não actuam por si só de uma forma isolada, estão inseridas num sistema de tecnologia numérica, com funcionalidades integradas de protecção, comando e controlo, também designado por SPCC. Este sistema é constituído por diversas unidades/equipamentos (Unidade Central, Dispositivos Electrónicos Inteligentes, Posto de Comando Local, rede de comunicação local), as quais, no seu conjunto, possibilitam a execução de automatismos distribuídos e a supervisão e comando da subestação, local ou remotamente [1].

## 2 Introdução

Especificamente os Dispositivos Electrónicos Inteligentes (*IED*) que neste caso são constituídos por unidades SIEMENS são responsáveis pela execução das funções de protecção, funções de automatismo, comando e controlo do processo, nomeadamente através da:

- Aquisição de informação proveniente do processo, medidas ou sinalizações
- Emissão de ordens para o processo
- Implementação de funções de protecção e automatismo
- Interação com outros IED ou com a unidade central de processamento, através da rede de comunicação (sinalizações internas, parâmetros, ...)
- Comando local dos órgãos de manobra de cada painel.

### 1.2. Objectivos

Em qualquer sector da indústria e serviços, a execução das tarefas tende a ser optimizada e cada vez mais precisa. Com efeito no decorrer do trabalho efectuado pela SISINT, no que respeita aos ensaios de comissionamento das subestações da EDP, surgiu a necessidade de tomar tal iniciativa. Daí o nascimento deste projecto que nos proporcionará optimização dos ensaios, automatização na sua execução e rigor na obtenção de resultados.

Neste sentido, a estrutura do mecanismo de funcionamento do SPCC, que engloba inúmeras funcionalidades e interage com diversos equipamentos, requer um elevado número de ensaios capazes de aferir o correcto funcionamento de cada uma das suas funções com o máximo de rigor e precisão.

Com efeito, este projecto visa desenvolver um modelo de ensaio constituído por uma base de testes automatizados que cumpram os requisitos técnicos e normativos associados a cada painel tipo de média tensão que constituem uma subestação AT/MT de distribuição.

Desta forma o modelo de testes será capaz de automatizar o processo de ensaio na medida em que o operador deixa de ter um papel activo passando a exercer essencialmente uma função de supervisão no processo. Como?

Com a criação de módulos de teste sujeitos a condições de execução, de funcionalidade e de validação conforme os requisitos técnicos e normativos em vigor. Desta forma o modelo tem já pré-definidos os ensaios a efectuar com base nas:

- Configurações de hardware
- Entradas binárias
- Saídas binárias
- Medidas analógicas
- Funções de protecção
- Funções de automatismo de religação

Adequadas ao tipo de painel em estudo, seja painel de Linha MT ou AT, TSA+RN, Bateria de Condensadores, Barras MT e Transformador de Chegada MT. Assim o operador depois de

proceder à correcta montagem do equipamento de teste, fica responsável por iniciar o mesmo, clicando no botão de *RUN*, proceder à alteração de estados que são solicitados pelo próprio teste e por verificar a aprovação das várias condições de validação dos diversos testes. À medida que os mesmos são executados, é necessário confirmar o envio das descrições para a lista de eventos da subestação.

### 1.3. Fundamento da evolução

O sistema de protecção, comando e controlo numérico de uma Subestação AT/MT da EDP Distribuição, é composto por um conjunto de funcionalidades integradas que interagem entre si através de dispositivos electrónicos inteligentes *IED* por comunicação e que promovem o funcionamento de todo o tipo aparelhagem que compõe este sistema.

Atendendo a que a execução de ensaios de comissionamento de Subestações AT/MT contempla o ensaio de operacionalidade de todo este complexo sistema de protecção, comando e controlo, a inexistência de um modelo de ensaio automatizado deixava ao operador a responsabilidade de adoptar uma metodologia de ensaio capaz de satisfazer as condições de verificação especificadas nos requisitos técnicos. Actualmente os ensaios são efectuados com recurso a um tipo de teste designado por “*Quick CMC*”, que tal como o nome indica é um tipo de teste generalista, prático e intuitivo mas que não permite criar uma base de registos de operações e resultados passível de ser consultada e analisada posteriormente. Apesar de existir um protocolo de ensaios em papel onde devem ser registados manualmente os resultados obtidos, poderão surgir as seguintes questões: o teste foi efectivamente efectuado com X condições? Quais as condições iniciais? De que forma foi efectuado o teste? Qual o estado das outras variáveis? Entre outras questões que poderão ser completamente objectadas com a implementação do modelo que foi por mim elaborado. Além disto, em consequência da sua reduzida capacidade de configuração, o teste “*Quick CMC*” tem que sistematicamente ser adaptado ao teste que se vai realizar pois não possui capacidade para autonomamente proceder a tal alteração, ao contrário do modelo agora criado.

Atendendo à actual estrutura do mecanismo de funcionamento dos Sistemas de Protecção Comando e Controlo das Subestações e à presente normalização dos requisitos e funcionalidades do sistema, torna-se indispensável o desenvolvimento de um modelo de ensaio automatizado, constituído por testes pré-definidos para os ensaios a efectuar, capaz de garantir, certificar e validar a operacionalidade do sistema

A criação deste modelo de ensaio, permitirá reunir todos os aspectos enunciados, bem como acumular a possibilidade de criar automaticamente um relatório por teste, tornando o modelo numa real mais valia para os ensaios de comissionamento das Subestações AT/MT de Distribuição da EDP.

## 1.4. Estrutura do Relatório

Este relatório de projecto assenta a sua estrutura em cinco (5) capítulos, pretendendo este primeiro, demonstrar as motivações para o desenvolvimento deste projecto, aludindo aos seus objectivos confrontando-os com os processos actuais.

O segundo capítulo faz uma abordagem geral do ambiente onde se enquadra o projecto.

O terceiro capítulo evidencia as características do hardware e *software* utilizado, nomeadamente a mala de ensaios Omicron CMC 356 e o *software* de teste Omicron “Test Universe”.

No quarto capítulo descreve-se, a constituição do modelo de ensaio desenvolvido e procede-se a uma análise detalhada dos diversos testes que constituem o modelo de ensaio em estudo servindo como base o do Painel de Linha MT.

Por último no quinto capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido e onde se abordam possibilidades para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## SUBESTAÇÃO AT/MT

Uma Subestação Eléctrica é uma instalação com um conjunto de equipamentos eléctricos destinados a elevar a tensão da electricidade produzida nas centrais eléctricas para ser transportada em Alta Tensão ou Muito Alta Tensão para as zonas de consumo, ou, uma vez perto destas, baixar o nível de tensão para que seja efectuada a distribuição da energia.

A Subestação tipo AT/MT (Alta e Média Tensão) da rede de distribuição é uma instalação mista, com aparelhagem de montagem exterior (painéis de alta tensão e equipamentos complementares de média tensão) e de montagem interior, mais concretamente no edifício de comando.



Figura 2.1 - Subestação AT/MT

## **2.1. Parque Exterior da Aparelhagem**

No parque exterior da aparelhagem estão instalados os painéis de Alta Tensão e os equipamentos complementares de média tensão. Os equipamentos que constituem o andar AT no parque exterior de uma subestação são os seguintes;

### **2.1.1. Transformador de potência**

No sistema de energia, desde a produção até à utilização, são impostos diferentes níveis de tensão por considerações de ordem económica e de segurança. Para realizar a transição entre os níveis de tensão empregam-se instalações transformadoras - subestações, onde o elemento base é o transformador de potência. É ele que assegura a transformação da Alta Tensão (60 kV) para a Média Tensão (30, 15 ou 10 kV, consoante a zona de implantação da Subestação. Estes realizam a sua função com rendimentos elevados. O Transformador de Potência (TP) é assim o equipamento mais dispendioso de uma Subestação.

O TP permite regular a tensão com possibilidade de actuação no número de espiras do enrolamento primário (tomadas do TP), de modo a manter o valor da tensão no secundário.

Além do mais dispendioso é também o equipamento mais volumoso da Subestação. Pode pesar até cerca de 70 toneladas e atingir cerca de 5 metros de altura. O óleo isolante compõe usualmente 25 % do peso total.

### **2.1.2. Linha**

As Linhas de Alta Tensão (AT) são condutores utilizados para estabelecer um circuito eléctrico e que podem ser utilizados para interligar duas instalações AT (Subestações ou Postos de Seccionamento AT).

Poderá ser utilizada também para alimentar clientes de Alta Tensão ou para escoar a energia eléctrica de algum produtor de energia eléctrica. Estes últimos cada vez mais marcam presença na rede de distribuição, devido aos produtores eólicos, enquadrados dentro da Produção em Regime Especial (PRE).

### **2.1.3. Seccionador**

O Seccionador é o equipamento de corte visível mas que não possui poder de corte em carga. O corte visível é importante e fundamental na segurança de pessoas, ou seja, é um dispositivo de manobra (mecânico) que assegura, na posição aberta, uma distância de isolamento que satisfaz requisitos de segurança especificados.

#### **2.1.4. Disjuntor**

O Disjuntor é um dispositivo electromecânico que protege os circuitos contra sobreintensidades (curto-circuitos ou sobrecargas).

O disjuntor interrompe o circuito eléctrico, antes que os efeitos térmicos e mecânicos desta corrente se possam tornar perigosos. A intensidade de corrente máxima a que o Disjuntor ainda consegue actuar é de 25 kA (25 000 A).

O corte é efectuado separando 2 contactos numa câmara de corte, que possui como material dieléctrico (isolante) o gás hexafluoreto de enxofre (*SF<sub>6</sub>*), com excelentes propriedades dieléctricas e de extinção do arco eléctrico. As temperaturas atingidas quando ocorre o arco eléctrico são de cerca de 2000 °C. O *SF<sub>6</sub>* ajuda a arrefecer os contactos em poucos milésimos de segundo (ms). O tempo máximo de abertura de um Disjuntor de Alta Tensão é de 70 ms e usualmente os tempos andam à volta de 35 ms.

#### **2.1.5. Isolador**

Os Isoladores afastam electricamente qualquer parte em tensão (barramento AT, Linhas, etc.) das estruturas que os suportam.

A EDP utiliza isoladores de porcelana. A porcelana é uma das derivações da cerâmica, caracterizada principalmente pela ausência de porosidade. Considerada como um dieléctrico (isolante) sólido, a porcelana destaca-se principalmente pela sua alta capacidade de isolamento eléctrico e resistência mecânica.

#### **2.1.6. Descarregador de Sobretensões**

O descarregador de Sobretensão (DST) é o equipamento que actua como protecção em relação às sobretensões.

No surgimento de uma sobretensão elevada (por exemplo, devido a descargas atmosféricas directas nas Linhas de Alta Tensão), o equipamento vai “descarregar a corrente” para o circuito de terra.

O terminal superior está ligado ao circuito de potência e a base está ligada à terra, através de uma barra de cobre. O material associado ao descarregador de Sobretensão é o óxido de zinco e possui uma resistência não linear funcionando como uma resistência de baixo valor para as sobretensões (fazendo com que a intensidade de corrente circule do terminal superior para a terra) e de valor elevado para a tensão normal (não acontecendo nada nesta situação).

### **2.1.7. Transformadores de Medida**

A ligação directa de aparelhos de medida num circuito de alta tensão além de perigosa obrigaria a construir estes aparelhos com enormes dimensões dada a necessidade de elevado nível de isolamento e grandes secções para as bobinas. Assim, os aparelhos de medida são ligados ao secundário de um transformador de medida no qual se obtêm as grandezas a medir já reduzidas a valores convenientes e sem perigo.

O transformador de medida, para além da segurança, tem ainda a função de aumentar o campo de medida (apenas em corrente alternada) do aparelho a utilizar

#### **2.1.7.1. Transformador de Tensão**

Tal como o Transformador de Potência, o Transformador de Tensão (TT) é um transformador, com 2 enrolamentos: um primário e um secundário.

Transforma a tensão real numa tensão medida, proporcional à real mas muito mais reduzida.

O TT dá a imagem da tensão que, naquele momento, existe no enrolamento primário. Por exemplo, nos TT que utilizem a relação de transformação 60 000/100 V, se estiverem 60 000 V no primário surgem 100V no secundário e esse valor pode ser constantemente monitorizado pelas unidades de protecção. Desta forma as unidades de protecção apenas recolhem os valores secundários de corrente alterna e é com base nesses valores que são avaliados os níveis de tensão do barramento AT.

#### **2.1.7.2. Transformador de Intensidade**

Tal como os Transformadores descritos anteriormente o Transformador de Intensidade de Corrente (TI) é um transformador com 2 enrolamentos: um primário e um secundário.

Transforma a corrente que circula no enrolamento primário numa corrente induzida no enrolamento secundário, proporcional ao primário mas muito mais reduzida.

Estas correntes são suficientemente reduzidas de forma a possibilitar a medição pelas unidades de protecção e pelos contadores.

### **2.1.8. Cabo de média Tensão**

O cabo MT é responsável pela ligação do secundário do transformador de potência ao respectivo barramento MT que se encontra no quadro metálico

O Cabo MT é constituído por um condutor e por uma camada isolante. O material condutor é multifilar e tem uma baixa resistência eléctrica (usualmente alumínio ou cobre) que permite transmitir uma determinada intensidade de corrente. A secção do condutor é escolhida de acordo com a intensidade de corrente pretendida.

A camada isolante destina-se a separar electricamente (ou isolar) o condutor, em relação ao exterior. O material utilizado é isolante sintético usualmente termoplásticos ou

elastómeros e polímeros. O material mais utilizado é o polímero reticulado. Existem ainda outros constituintes do cabo que variam consoante o tipo de utilização do cabo e são os ecrãs metálicos, as armaduras e as bainhas exteriores.

O ecrã metálico destina-se a criar uma protecção eléctrica e mecânica e são utilizados usualmente materiais condutores através de uma malha em torno da camada isolante. As armaduras protegem mecanicamente contra esforços tais como esmagamento e impacto e acção de roedores e é utilizado aço em forma de fita ou vários fios envolvendo o ecrã metálico. A bainha exterior destina-se a proteger o cabo do exterior, nomeadamente a estanquicidade à água, bom comportamento com a temperatura, resistência a agentes nocivos (químicos, corrosivos, etc.). São utilizados materiais plásticos isolantes tais como o PVC, Polietileno ou compostos ignífugos se se pretender resistência à propagação do fogo.

## **2.2. Edifício de Comando**

O edifício de comando é constituído por uma sala ampla onde se encontra instalado o equipamento principal de Média Tensão - Quadro Metálico blindado e respectivo barramento MT - e os sistemas de alimentação e de comando e controlo que se encontram integrados em armários adequados para o efeito.

### **2.2.1. Quadro Metálico**

Quadro que contém as Celas de Média Tensão (MT), onde interligam as linhas de MT da rede de distribuição que irão alimentar os Postos de Seccionamento e de Transformação da rede de distribuição nos centros de consumo. Este inclui todos os painéis de saída MT, baterias de condensadores, Transformadores de Serviços Auxiliares e Reactância de Neutro. A existência do painel de seccionamento de barras depende do tipo de barramento utilizado.

### **2.2.2. Serviços auxiliares de tensão alterna**

Armários que contém os disjuntores de Baixa Tensão (BT) que alimentam os diversos circuitos de tensão alternada da Subestação. Este armário é alimentado pelos Transformadores de Serviços Auxiliares e alimenta diversos serviços, tais como a ventilação de emergência, o aquecimento dos armários no exterior, o ar condicionado, a iluminação e as tomadas da Subestação.

### **2.2.3. Serviços auxiliares de tensão contínua**

Armários que contêm os disjuntores de Baixa Tensão (BT) que alimentam os diversos circuitos de tensão contínua da Subestação. Este armário é alimentado pelas baterias de tensão contínua e depois cada circuito de tensão contínua alimenta diversos serviços, tais como as centrais de intrusão e incêndio, o PC e os diversos circuitos de comando e protecção.

### **2.2.4. Rectificador**

Armário onde se aloja o equipamento que converte a alimentação em tensão alternada em tensão contínua, que irá alimentar (carregar) as baterias de tensão contínua.

### **2.2.5. Baterias de tensão contínua**

Baterias onde se armazena a energia eléctrica. Todos os circuitos de comando e protecção funcionam a tensão contínua, alimentados pelas baterias em caso de indisponibilidade da tensão do rectificador.

Faltando a energia as baterias asseguram o comando funcional da Subestação durante o tempo da capacidade das baterias, tal como, a alimentação das unidades de protecção e o comando dos motores dos órgãos comandáveis.

Como as baterias do Projecto Tipo têm 200 Ah de capacidade poderão fornecer 20 A de intensidade de corrente durante 10 horas.

As baterias são do tipo Alcalino.

### **2.2.6. Contagem**

Armário onde se encontram os contadores da Subestação. Existe contagem da energia que passa nos Transformadores de Potência, nos Transformadores de Serviços Auxiliares e também é medida a energia reactiva das Baterias de Condensadores.

Existe também um sistema de telecontagem que envia os valores das contagens pela rede telefónica para os serviços centrais da EDP, ficando disponível em tempo real as contagens da Subestação.

### **2.2.7. Comunicações**

Armário onde se acomoda o equipamento de telecomunicações, que permite que a Subestação seja comandada remotamente, sem a presença física de técnicos.

### **2.2.8. Posto de comando local**

Armário que contém um computador que faz de Posto de Comando Local, com um sinóptico que permite comandar localmente os seus órgãos.

É uma imagem da configuração real da Subestação, com a indicação do estado (aberto/fechado) dos seus órgãos comandáveis, tais como os Disjuntores, os Seccionadores e as Tomadas do Transformador de Potência.

### **2.2.9. Painel AT**

Contêm as unidades de protecção e comando dos diversos Painéis bem como o regulador automático de tensão. Estas unidades recebem informações e medidas (dos Transformadores de Tensão e de Intensidade de Corrente) e avaliam em tempo real a necessidade de actuação, junto dos órgãos de corte (Disjuntores) ou nas tomadas do Transformador de Potência

## **2.3. Quadro de Média Tensão**

Os quadros metálicos de MT são compostos por celas elementares, que contêm a aparelhagem correspondente à função que definirá o seu tipo de funcionamento.

Com efeito, cada quadro metálico de MT pode comportar os seguintes tipos de celas:

- Chegada Transformador de Potência
- Linha
- Bateria de Condensadores
- Transformador de Serviços Auxiliares e Reactância de Neutro
- Potencial de barras
- Interbarras

Cada painel tipo inclui também todas as ligações responsáveis pela transferência de informação entre o meio físico e os dispositivos de controlo e protecção.

### **2.3.1. Função de cada tipo de cela**

#### ***2.3.1.1. Chegada do Transformador de Potência***

A cela de Chegada do Transformador, tal como o próprio nome indica, assegura a ligação entre o secundário do transformador de potência AT/MT e o barramento do quadro metálico. É responsável pela alimentação do barramento de Média Tensão por intermédio do circuito secundário do Transformador de Potência. Normalmente esta ligação é efectuada a cabo.

### **2.3.1.2. Linha MT**

A cela de Linha MT permite fazer a distribuição da alimentação do sistema eléctrico pelas várias linhas de média tensão que compõem um dado sistema dado que estão “penduradas” no barramento de MT da Subestação.

A cela de Linha MT tem a particularidade de permitir, ora alimentar a rede, ora alimentar o próprio barramento seja através de um produtor isolado ou do fecho em anel da própria rede. Este tipo de configuração confere ao painel de linha uma grande versatilidade que terá de ser levada em linha de conta no estudo de coordenação para a sua protecção, avaliada mais adiante.

### **2.3.1.3. Bateria de Condensadores**

A cela de Bateria de Condensadores é responsável pela ligação do barramento de média tensão a um ou mais bancos de baterias de condensadores que têm como função permitir a compensação do factor de potência do sistema a que se encontra ligado ora de uma forma manual ora de uma forma automática e programada no tempo.

### **2.3.1.4. Transformador de Serviços Auxiliares**

A cela de Transformador de Serviços Auxiliares assegura a ligação do barramento de média tensão a um transformador MT/BT responsável por alimentar todo o sistema de baixa tensão existente na subestação.

Além do exposto esta cela assegura a ligação do barramento a uma reactância de neutro que permite uma alteração rápida do regime de neutro da subestação, isolado ou impedante.

### **2.3.1.5. Interbarras**

A cela de interbarras permite a ligação de dois semi-barramentos caso estes existam. A exploração do SEE poderá assim optar por um sistema de barramento único ou de dois semi-barramentos.

### **2.3.1.6. Potencial de Barras**

A cela de Potencial de Barras contém o transformador de medidas de tensões e é responsável por distribuir através do circuito secundário do mesmo os valores de tensão para as celas cujas protecções necessitem o seu conhecimento. Esta distribuição será efectuada conforme o esquema de princípio.

## 2.4. Sistema de Protecções, Comando e Controlo

O sistema de protecção comando e controlo (*SPCC*) de tecnologia digital assegura o comando e a supervisão da subestação, no local e à distância, através das funções de protecção, automatismo e encravamento definidos para cada tipo de painel.

O *SPCC* de uma subestação é composto por:

- Unidade de Gestão Central (*UGC*)
- Sistema de visualização e comando (*Posto Comando Local*)
- Dispositivos Electrónicos Inteligentes (*IED's 7SJ612,7SJ642*)

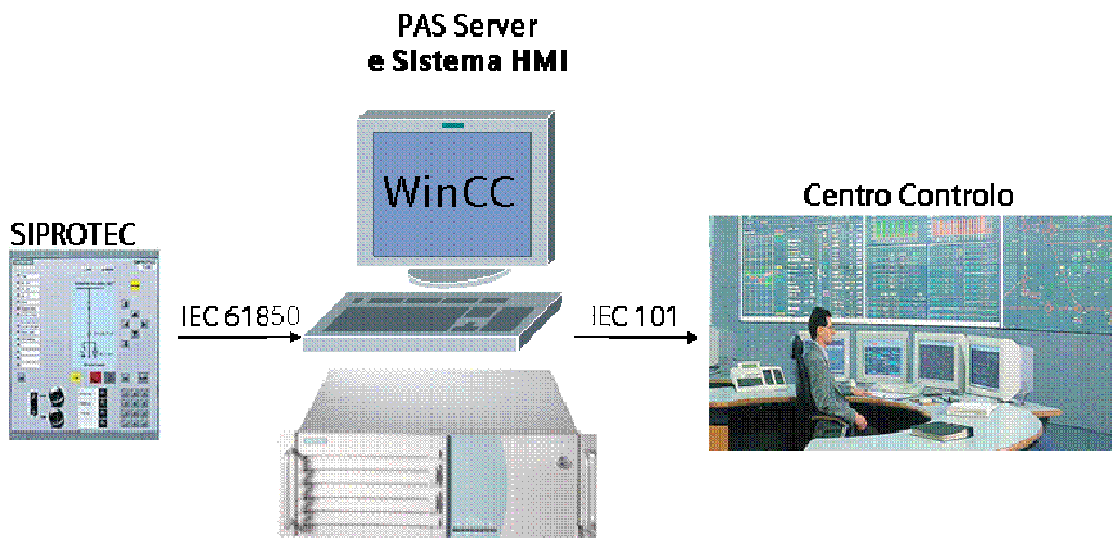


Figura 2.2 - Arquitectura geral de comunicação [14]

### 2.4.1. Unidade de Gestão Central (*UGC*)

A Unidade de Gestão Central (*UGC*) é responsável pela execução das funções de comando e controlo de toda a instalação, no local e à distância, nomeadamente:

- Supervisão e comando local da subestação;
- Recolha e tratamento da informação gerada na subestação;
- Gestão do registo cronológico de acontecimentos na subestação, garantindo o arquivo no PCL dos registos de eventos e de oscilografia, “descarregados” automaticamente das protecções numa lógica “Event Triggered”;
- Implementação de funções de automatismo; configuração, parametrização e manutenção de todos os módulos funcionais do sistema, através dum posto de comando local (*PCL*);
- Animação em tempo real dos diversos quadros gráficos do IHM disponíveis no PCL;
- Interligação com o sistema de telecondução e despacho da EDP

Toda a transferência de informação é baseada num sistema de comunicações, descrito mais adiante, no qual a *UGC* funciona como um nó na rede interagindo com todos os *IED*'s.

De forma a garantir a mesma datação nos equipamentos constituintes do *SPCC*, existe um sistema de sincronização horária através dum *GPS*.

### 2.4.2. Sistema de visualização e comando (*Posto Comando Loca (PCL)*)

O sistema de visualização e comando de uma subestação, vulgarmente designado por *Posto de Comando Local-PCL* assegura, na sua área de abrangência, e em articulação com o Centro de Despacho da EDP, o comando e controlo da subestação e a coordenação das medidas e meios para a visualização de estados e ocorrências, tendo em vista a supervisão do sistema. Trata-se então de um interface de operação entre o utilizador (Operador/Despacho) e toda a aparelhagem da instalação através de um monitor situado no armário da *Unidade de Gestão Central*.

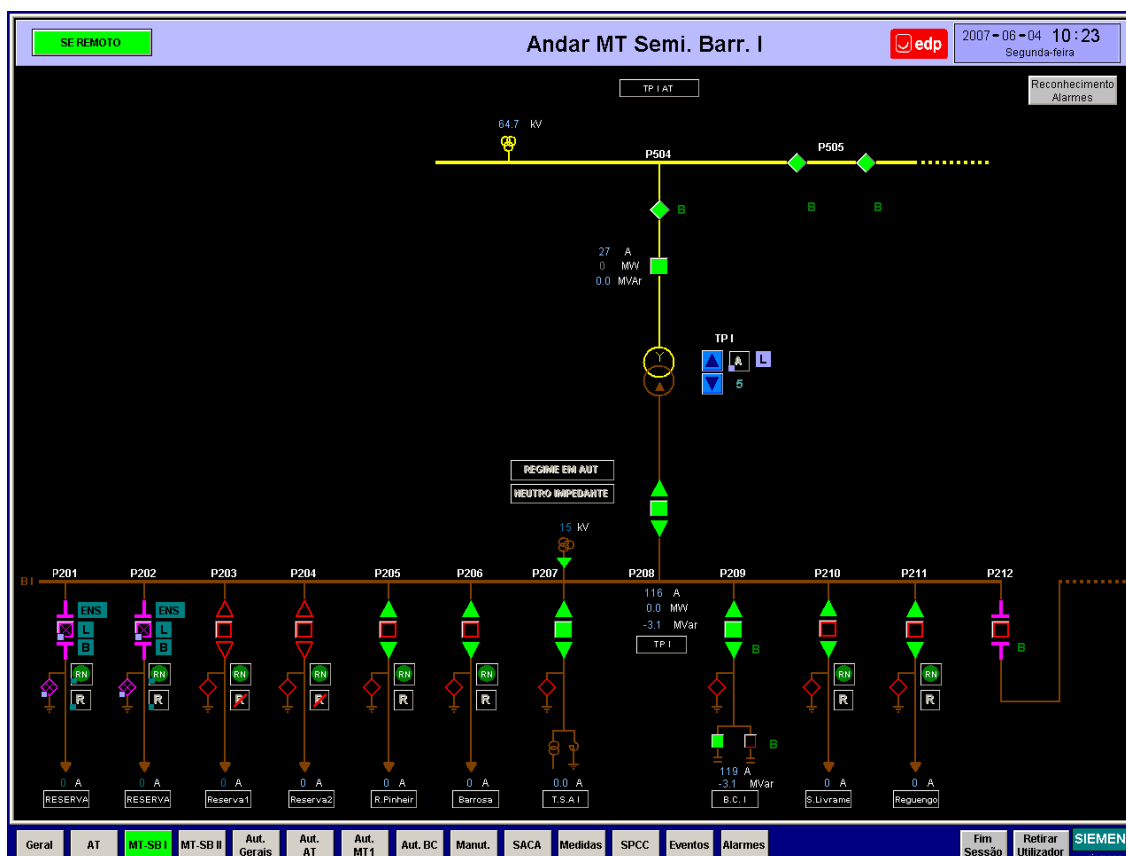


Figura 2.3 - Esquema unifilar disponibilizado pelo PCL

A figura 2.3 representa a imagem obtida através do PCL referente ao esquema unifilar do nível de média tensão duma subestação com dois semi-barramentos (apenas um é visível) Através da mesma é possível comandar individualmente os aparelhos dos painéis dos ramos

de MT, AT e BI e verificar o estado em tempo real de cada um deles. As funções de automatismo individuais estão visíveis neste nível de visualização.

Na barra inferior existe a possibilidade de comutar a imagem de apresentação conforme as funcionalidades que se pretendem executar. Com efeito, e descrevendo apenas algumas delas, podem-se seleccionar as imagens referentes aos andares AT e/ou MT, automatismos gerais e/ou por nível de tensão, medidas, eventos, alarmes, entre outros.

	DATA	HORA	PAINEL	DESCRICAO	ESTADO
954	31/07/2007	14:27:00.217	2S.Livram	COMUNIC HORIZONTAL	NORMAL
955	31/07/2007	14:27:02.497	2TPMT1	MAX I> INST	NORMAL
956	31/07/2007	14:27:02.497	2TPMT1	MIN FREQ ESC1	NORMAL
957	31/07/2007	14:27:02.497	2TPMT1	FALTA CA PAINEL	NORMAL
958	31/07/2007	14:27:02.497	2TPMT1	DISJ ESTADO	NORMAL
959	31/07/2007	14:27:02.497	2TPMT1	DESL U DISJ	NORMAL
960	31/07/2007	14:27:02.498	2TPMT1	DISJ TT PROT B1	NORMAL
961	31/07/2007	14:27:02.498	2TPMT1	P ARCO INT BARR	NORMAL
962	31/07/2007	14:27:02.498	2TPMT1	MIN FREQ ESC2	NORMAL
963	31/07/2007	14:27:02.498	2TPMT1	MIN FREQ ESC2	Simulated Message
964	31/07/2007	14:27:02.498	2TPMT1	MIN FREQ ESC2	NORMAL
965	31/07/2007	14:27:02.499	2TPMT1	ESTADO PAINEL	ENSAIO
966	31/07/2007	14:27:02.499	2TPMT1	MOLAS DISJ FROUXAS	NORMAL
967	31/07/2007	14:27:02.499	2TPMT1	P ARCO INT CABOS	NORMAL
968	31/07/2007	14:27:02.499	2TPMT1	PRESSAO SF6 M1	NORMAL
969	31/07/2007	14:27:02.499	2TPMT1	PRESSAO SF6 N2	NORMAL
970	31/07/2007	14:27:02.499	2TPMT1	MONITOR ARCO CAB	NORMAL
971	31/07/2007	14:27:02.499	2TPMT1	MONITOR ARCO B	NORMAL
972	31/07/2007	14:27:02.500	2TPMT1	DISJ	FECHADO
973	31/07/2007	14:27:02.500	2TPMT1	CIRC COM FECH DISJ FALHA	NORMAL
974	31/07/2007	14:27:02.500	2TPMT1	PARTE MOVEL	INTRODUZIDO
975	31/07/2007	14:27:02.500	2TPMT1	CICLO DESL U	FIM
976	31/07/2007	14:27:02.500	2TPMT1	MAX I>> TEMP	NORMAL
977	31/07/2007	14:27:02.500	2TPMT1	P ARCO INT DISJ	NORMAL
978	31/07/2007	14:27:02.501	2TPMT1	CIRC COM ABER DISJ FALHA	NORMAL
979	31/07/2007	14:27:02.501	2TPMT1	SUPERV CIRC LIG	NORMAL
980	31/07/2007	14:27:02.501	2TPMT1	SUPERV CIRC DESLIG	NORMAL
981	31/07/2007	14:27:02.501	2TPMT1	COMUNIC HORIZONTAL	NORMAL
982	31/07/2007	14:27:02.501	2TPMT1	MIN U<< INST	ARRANQUE
983	31/07/2007	14:27:02.501	Automacao	P208 MODO FUNCION	DISTANCIA
984	31/07/2007	14:27:02.501	B1_15KvP208	ACELER PROT	NORMAL
985	31/07/2007	14:27:02.502	2TPMT1	DISJ PERM LIG	NORMAL
986	31/07/2007	14:27:02.502	2TPMT1	F DESL+REP F2	FORA SERV
987	31/07/2007	14:27:02.502	2TPMT1	F DESL+REP FREQ	FORA SERV
988	31/07/2007	14:27:02.502	2TPMT1	F DESL+REP U MT	FORA SERV
989	31/07/2007	14:27:02.502	2TPMT1	DISJ PERM DESLIG	NORMAL
990	31/07/2007	14:27:02.503	2TPMT1	CICLO DSL F ESC2	FIM
991	31/07/2007	14:27:02.503	2TPMT1	CICLO DSL F ESC1	FIM
992	31/07/2007	14:27:02.503	2TPMT1	MAX U> TEMP	NORMAL
993	31/07/2007	14:27:02.503	2TPMT1	MAX I> TEMP	NORMAL
994	31/07/2007	14:27:02.503	2TPMT1	MAX I>> INST	NORMAL
995	31/07/2007	14:27:02.503	2TPMT1	MAX U> INST	NORMAL
996	31/07/2007	14:27:02.503	2TPMT1	BLOCO TT	INTRODUZIDO
997	25/09/2007	11:12:01.807	PCL	UTILIZADOR	SEM UTILIZADOR
998	25/09/2007	11:12:01.897	PCL	UTILIZADOR	SEM UTILIZADOR
999	25/09/2007	11:12:18.210	PCL	UTILIZADOR	SEM UTILIZADOR
▶1000	25/09/2007	11:12:20.143	PCL	UTILIZADOR	siemens

9/25/2007 11:24 (LOC) List: 0 Window: 1000 Ack: 0

Figura 2.4 - Lista de eventos da subestação

A imagem 2.4 representa a lista de eventos que é gerada de forma instantânea por ordem de ocorrência na subestação. Esta lista recolhe todas as alterações de estado dos

equipamentos bem como regista todas as ocorrências ao nível de defeitos detectados pelas unidades de protecção sinalizando tanto alarmes como disparos.

De forma a controlar as funções de automatismo individuais inerentes a cada tipo de painel o PCL disponibiliza uma secção onde se poderá activar e desactivar a função de deslastre de tensão e frequência por painel, seleccionar o tipo de programa de deslastre, a prioridade do painel, definir o programa e afectar ou não o painel ao religador, afectar ou não o painel ao automatismo de PTR e definir a sua prioridade, seleccionar o tipo de saída e seleccionar o regime de exploração dos painéis,

SE Serzedo - Automatismos Individuais 15kV												2007-06-04 10:25 Segunda-feira	
PAINEL	DESLASTRE + REPOSIÇÃO U<		DESLASTRE + REPOSIÇÃO I<			PESQUISA DE DEF. TERRA			RELIGACAO		REE		
	ESTADO	PRIORIDADE	ESTADO	ESCALÃO	PRIORIDADE	ESTADO	TIPO DE SAÍDA	PRIORIDADE	ESTADO	PROGRAMA			
<b>SEMI-BARRAMENTO 1</b>													
P201- RESERVA	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	0	SERVIÇO	AÉREA	1	INDEF	**	RNE		
P202- RESERVA	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	0	F.SERVIÇO	AÉREA	4	INDEF	**	RNE		
P203- Reserva1	S.PROG	0	S.PROG	ESC 1	0	F.SERVIÇO	AÉREA	0	F.SERVIÇO	1R-2L	RNE		
P204- Reserva2	S.PROG	0	S.PROG	ESC 1	0	F.SERVIÇO	AÉREA	4	F.SERVIÇO	1R-2L	RNE		
P205- R.Pinheir	S.PROG	0	S.PROG	ESC 1	1	F.SERVIÇO	AÉREA	0	SERVIÇO	1R-1L	RNE		
P206- Barrosa	S.PROG	2	S.PROG	ESC 1	2	F.SERVIÇO	AÉREA	0	SERVIÇO	1R-1L	RNE		
P210- S.Livrame	S.PROG	3	S.PROG	ESC 1	3	F.SERVIÇO	AÉREA	0	SERVIÇO	1R	RNE		
P211- Reguengo	S.PROG	5	S.PROG	ESC 1	4	F.SERVIÇO	AÉREA	0	SERVIÇO	1R-1L	RNE		
<b>SEMI-BARRAMENTO 2</b>													
P214- LMT14	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	3	F.SERVIÇO	AÉREA	0	INDEF	**	RNE		
P215- LMT15	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	4	F.SERVIÇO	AÉREA	0	INDEF	**	RNE		
P219- LMT19	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	0	INDEF	AÉREA	0	INDEF	**	RNE		
P220- LMT20	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	0	INDEF	AÉREA	0	INDEF	**	RNE		
P221- LMT21	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	0	INDEF	AÉREA	0	INDEF	**	RNE		
P222- LMT22	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	0	INDEF	AÉREA	0	INDEF	**	RNE		
P223- LMT23	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	0	INDEF	AÉREA	0	INDEF	**	RNE		
P224- LMT24	S.PROG	0	S.PROG	INDEF	0	INDEF	AÉREA	0	INDEF	**	RNE		

Figura 2.5 - Página para comutação dos automatismos individuais

### 2.4.3. Dispositivos Electrónicos Inteligentes

Os Dispositivos Electrónicos Inteligentes (*IED - Intelligent Electronic Device*) são responsáveis pela execução das funções de protecção, automatismo e comando e controlo do processo (aquisição de dados e comando da aparelhagem).

Tipicamente, os IED, através da utilização de hardware específico (cartas electrónicas de entrada e saída), são responsáveis pela:

- Aquisição de informação proveniente do processo (sinalizações e medidas);
- Emissão de ordens para o processo (por solicitação das funções de telecomando, protecção ou automatismo);
- Implementação de funções de automatismo e de protecção;
- Interação com outros IED ou com a unidade central de processamento, através da rede de comunicação local (sinalizações internas, parâmetros e telecomando);
- Comando local dos órgãos de manobra de cada painel.

As unidades de protecção e comando utilizadas ao nível da média tensão nas Subestações da EDP são as 7SJ642 e as 7SJ612. São dispositivos numéricos, multifuncionais, de controlo e protecção equipados com um microprocessador poderoso. Todas as tarefas são processadas digitalmente, desde a obtenção de valores medidos até aos comandos para os disjuntores.

#### 2.4.3.1. Entradas analógicas

As entradas analógicas de medições de corrente alterna convertem correntes e tensões originárias dos secundários dos transformadores de medida e adaptam-nas para o nível adequado para processamento interno no dispositivo.

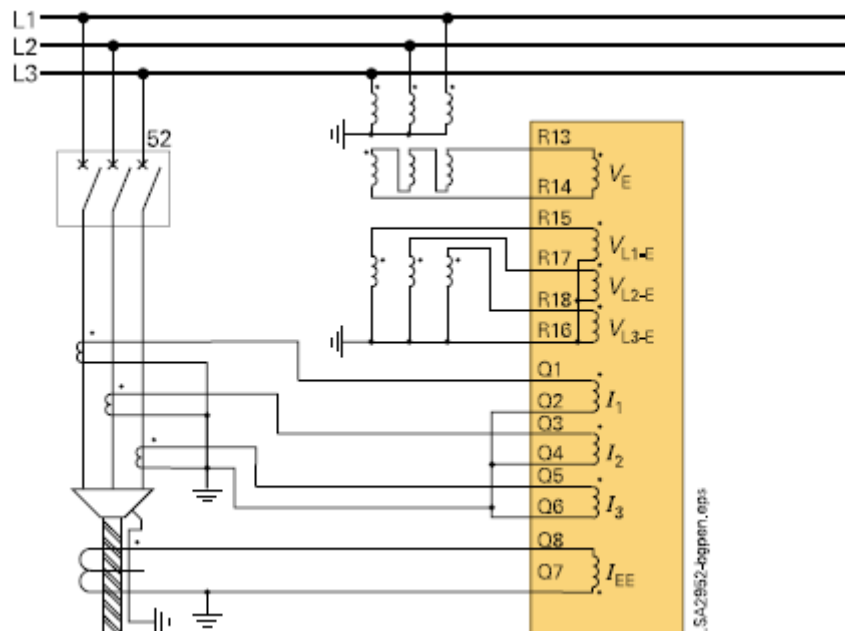


Figura 2.6 - Entradas analógicas da unidade de protecção 7SJ64 [10]

A unidade fornece quatro entradas de correntes. Dependendo do modelo, o dispositivo também está equipado com três ou quatro entradas de tensões. Três entradas de correntes servem para entrada das correntes de fases. A quarta entrada de corrente (IN) pode ser usada para a medição da corrente de defeito à terra (ponto estrela do transformador de corrente), ou para um transformador de corrente de terra separado (para detecção de corrente de defeito sensível de terra e detecção direccional de defeitos à terra), normalmente utilizando um toro.

As entradas de tensão também podem ser usadas para medir as três tensões de fase a terra, ou duas tensões fase-fase e a tensão residual (Tensão VN). Também é possível conectar duas tensões fase-fase em conexão delta aberto. Desta forma, as quatro entradas de tensão da 7SJ64 também podem ser aplicadas para a entrada de 3 tensões fase-terra, uma tensão residual (tensão VN) ou uma outra tensão para a função de check de sincronismo.

Para o ensaio e determinação do modelo em estudo a injeção de correntes e tensões é efectuada nestas entradas analógicas. De notar que para proceder aos ensaios devem-se seccionar os bornes da instalação de forma a curto-circuitar o circuito de correntes para o exterior (TI's) e abrir o circuito externo das tensões.

Paralelamente ao processamento de valores medidos, o sistema de microcomputador também executa efectivamente as funções de protecção e controlo. Inclui especialmente:

- Filtragem e preparação das grandezas medidas
- Monitorização das condições de pickup para as funções de protecção individuais
- Interrogação de valores limite e sequências no tempo
- Controlo de sinais para as funções lógicas
- Saída de comandos de controlo para dispositivos de chaveamento
- Gravação de mensagens, dados de defeitos e valores de defeitos para análise
- Gerenciamento do sistema operacional e funções associadas, tais como, gravação de dados, relógio em tempo real, comunicação, interfaces, etc.
- A informação é fornecida por meio de amplificadores de saída.

#### *2.4.3.2. Entradas e saídas binárias*

As unidades de protecção obtêm informação externa através dos módulos de entradas/saídas binárias. Cada entrada é activa através duma tensão de polarização obtida nos terminais respectivos. As unidades em estudo, 7SJ642 que disponibiliza 20 (vinte) entradas binárias e a 7SJ612 que disponibiliza 11 (onze) entradas permitem obter os estados actuais da aparelhagem da subestação bem como qualquer alteração no sistema.

Através das saídas binárias as unidades assumem uma função de controlo permitindo actuar sobre alguns equipamentos e enviar sinalizações para sinalização remota de eventos importantes.

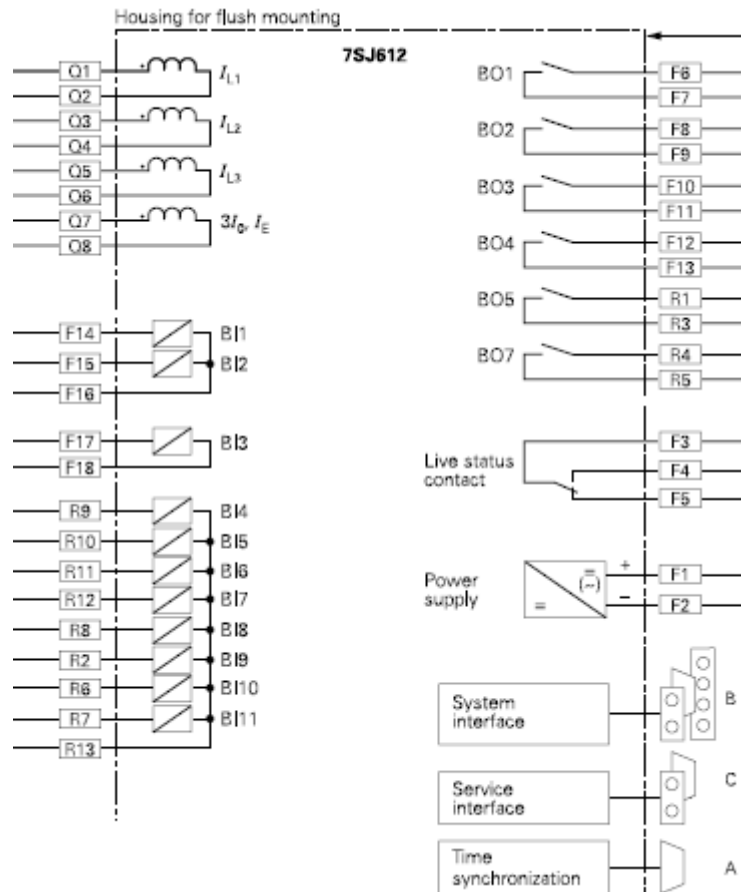


Figura 2.7 - Entradas e saídas binárias da unidade de protecção 7SJ612 [10]

### 2.4.3.3. Interface frontal

No painel frontal obtêm-se informações tais como, mensagens relacionadas a eventos, estados, valores medidos e status funcional do dispositivo, e são fornecidas por meio de díodos de emissão de luz (LEDs) e uma tela (LCD).

Um controlo integrado e teclas numéricas em conjunto com o LCD facilitam a interacção com o dispositivo remoto. Por meio desses elementos, toda informação do dispositivo, tal como, parâmetros de configuração e de ajustes, mensagens de defeitos, operações e valores medidos, podem ser observados. Parâmetros de ajustes, tais como settings de actuação tempos de disparo, activação e desactivação de funções podem ser alterados da mesma forma.

Além disso, o controlo dos disjuntores e outros equipamentos é possível a partir do painel frontal do dispositivo.

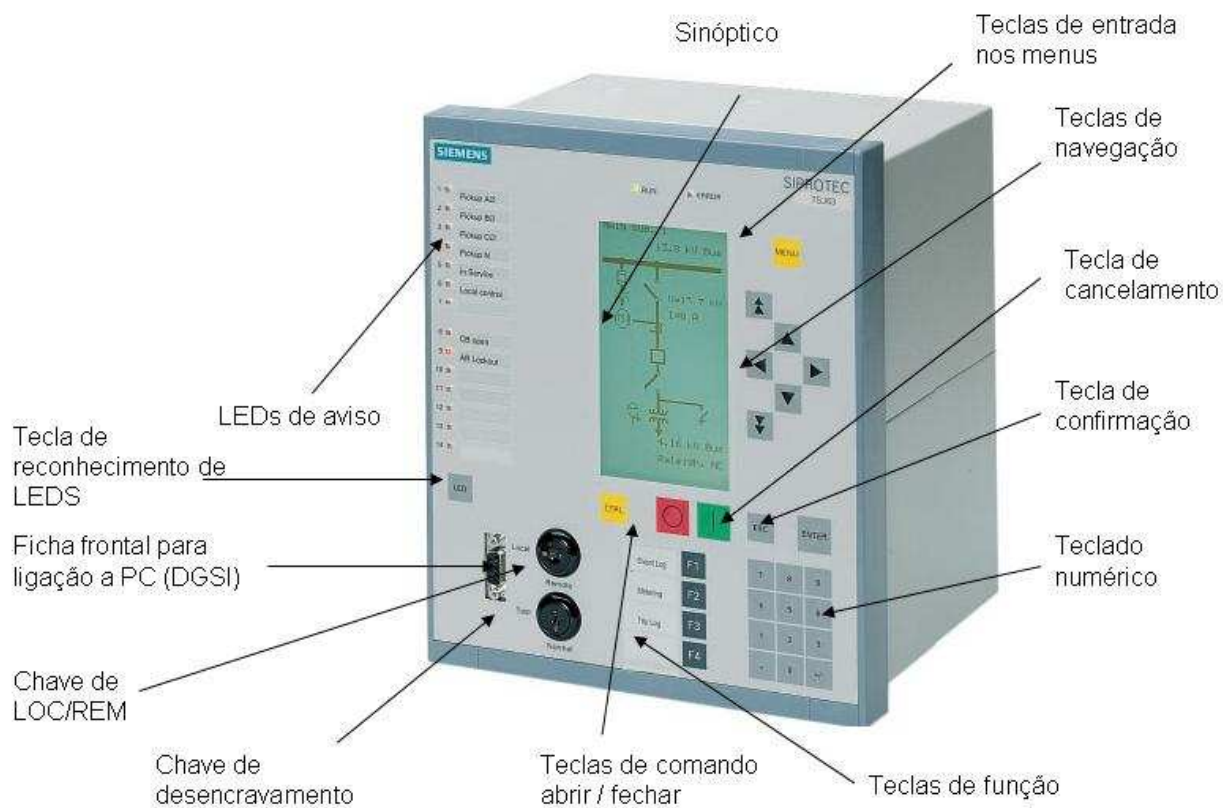


Figura 2.8 - Unidade de protecção 7SJ64

#### 2.4.3.4. Sistema de comunicações

A rede de comunicação local do SPCC assegura a comunicação entre a Unidade de Gestão Central, os Dispositivos Electrónicos Inteligentes e o Posto de Comando Local, sendo constituída por uma infra-estrutura física e por equipamentos de comunicação.

A infra-estrutura física da rede local é do tipo “fast ethernet”, suportada em fibra óptica, garantindo uma velocidade de transmissão adequada à execução das diferentes funções inerentes ao SPCC.

Entre os *IED* de painel e a *UGC* a topologia é em anel, sendo utilizado o protocolo de comunicação IEC61850. Para a comunicação entre os *IED* é utilizado o mecanismo de priorização de mensagens associado a este protocolo - *GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event)* - possibilitando a implementação de lógicas de encravamento via Bus, aceleração de protecções e a implementação de automatismos de uma forma distribuída.

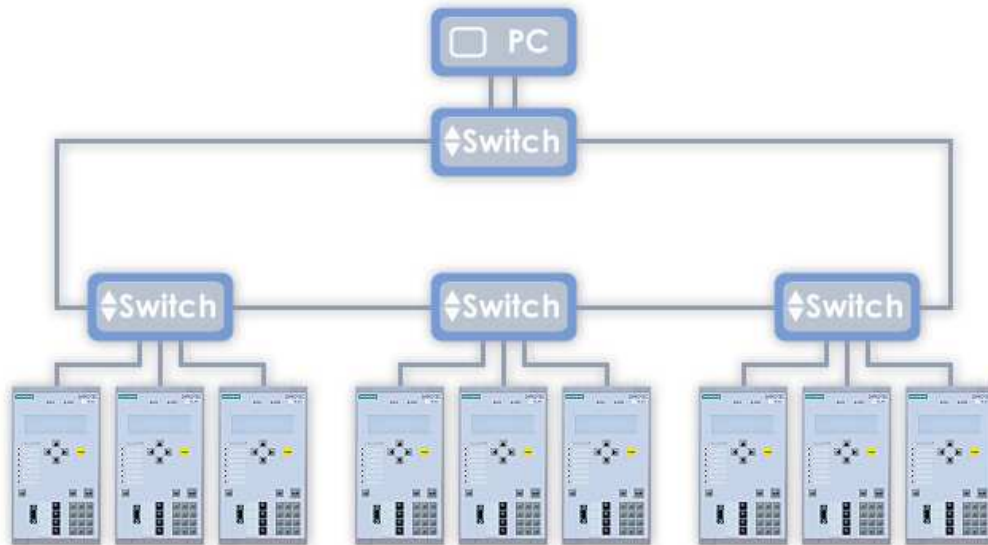


Figura 2.9 - Arquitectura de comunicação [14]



# Capítulo 3

## MALA DE ENSAIOS

### 3.1. Características

A mala de ensaios utilizada para a realização deste projecto foi a *Omicron CMC 356*. Este equipamento é responsável pela injeção de correntes e tensões sinusoidais que se injectam conforme esquema de funcionamento da rede [3], a jusante dos bornes seccionáveis que compõem o circuito de medidas analógicas do respectivo painel. Estas correntes e tensões pretendem simular os vários defeitos da rede que originam a actuação das funções de protecção.

Além da injeção dos sinais analógicos, a mala de ensaios possui um módulo de entradas e outro de saídas binárias através dos quais é feita a aquisição e envio de sinalizações e comandos entre os Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED) e os restantes equipamentos pertencentes ao Sistema de Protecção Comando e Controlo da Subestação [4].

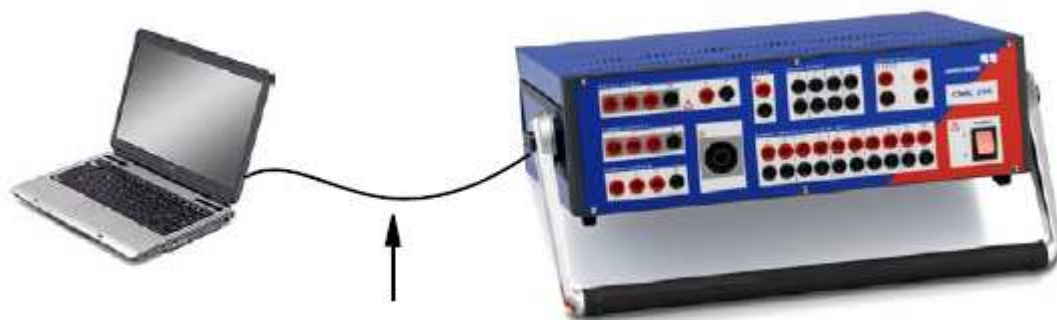


Figura 3.1 - Comunicação entre Omicron CMC356 e o Computador é efectuada por Ethernet [2]

### 3.1.1. Saídas de tensão

A *Omicron CMC 356* dispõe de dois módulos de saídas analógicas de tensões. O primeiro permite a injeção de três (3) fases mais o neutro e é utilizado quando se pretende simular a tensão em cada uma das fases do barramento MT da Subestação. O segundo módulo apenas disponibiliza uma saída de tensão com o respectivo neutro que neste caso foi configurado de forma a simular a tensão homopolar resultante do desequilíbrio de tensões do próprio barramento. A tensão máxima obtida é de 300V.

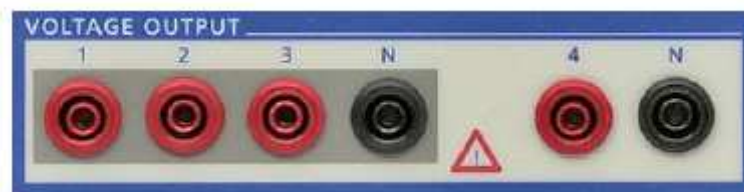


Figura 3.2 - CMC 356: Módulos de saída de tensão 4 x 300V [2]

### 3.1.2. Saídas de corrente

A *Omicron CMC 356* dispõe de dois módulos de saídas analógicas de correntes, sendo que neste caso são disponibilizadas três fases por para módulo. Através dos ajustes de configuração de hardware podemos seleccionar quais dos módulos pretendemos que estejam activos. Com efeito, nos modelos de testes criados, o segundo módulo será utilizado sempre que exista necessidade de simular correntes no toro. O primeiro será utilizado para simular as correntes das três fases do barramento.

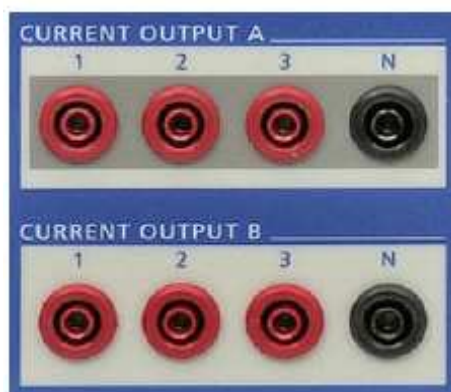


Figura 3.3 - CMC 356: Módulos de saída de corrente 6 x 32A / 3 x 64A / 1 x 128A [2]

### 3.1.3. Entradas binárias

A mala de ensaios disponibiliza um módulo com dez (10) entradas binárias que poderão ser configuradas individualmente por *software* conforme as necessidades do sistema. A configuração das entradas binárias poderá ser efectuada através do módulo de configuração de hardware e permite especificar o tipo de contacto a utilizar, se simples ou polarizado.

Este módulo de entradas binárias é que vai permitir a aquisição de sinais do sistema. Sinais estes que irão ser submetidos a critérios de validação por parte do *software* e transmitir ao operador a operacionalidade do sistema em teste. Como será tratado mais adiante, a configuração das entradas binárias é específica para cada painel, pois as sinalizações envolvidas são distintas conforme a função que este desempenha na subestação.

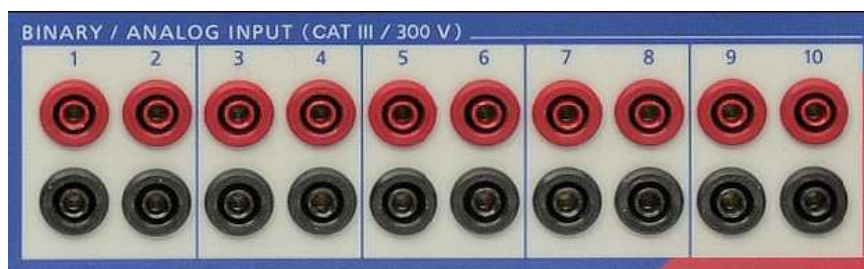


Figura 3.4 - CMC 356: Módulos de entradas binárias [2]

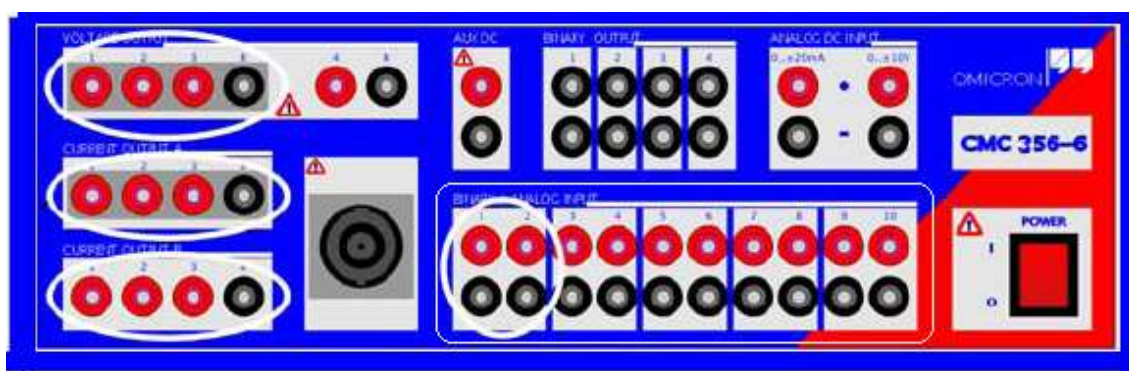


Figura 3.5 - Vista frontal da CMC 356 com a individualização das entradas e saídas [5]

### 3.1.4. Configuração de hardware

Com esta funcionalidade, definem-se os componentes de hardware que serão utilizados [5], tanto a nível de saídas analógicas como ao nível das entradas e saídas binárias. Assim, de acordo com o tipo de painel a ensaiar e consoante o número de informações disponibilizadas no seu funcionamento, cada teste é parametrizado especificamente para a sua actividade e de acordo com as especificações existentes. Recordo que as condições de verificação e aprovação dos vários testes são baseados nas variáveis definidas previamente nestas configurações de hardware.

Configuração de hardware							
Geral		Saídas analógicas		Entradas binárias / analógicas		Saídas binárias	
Entradas							
Função		Binário	Binário	Binário			
Livre de potencial		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
Faixa nominal							
Relação do clamp de corrente							
Limiar							
Etiqueta	Terminal de conexão	1+	1-	2+	2-	3+	3-
Disp. Disjuntor		X					
Arr. MSQT				X			
Disp. MIF						X	
Disp. MIH							
Disp. PTR							
REE On							
OFM/O.Religação							
Disj. Fechado							
Disp. CHMT							
Dis. BMT							
Entr. bin. 11							
Entr. bin. 12							

Figura 3.6 - Exemplo da configuração de entradas binárias utilizadas no painel de Linha MT

## 3.2. Software - “Test Universe”

O *software* “Test Universe” possibilita a interface entre o operador e a mala de ensaios. É através deste *software* que se parametrizam as configurações de hardware atrás referidas e a partir dos quais se desenvolve a criação do modelo de ensaio objecto de estudo neste relatório.

Este *software* é constituído por um conjunto de módulos de teste orientados à função que se pretende ensaiar. A adequada configuração de hardware, em conjugação com uma criteriosa selecção dos módulos de teste disponibilizados pelo *software*, permitiu elaborar um modelo de ensaio específico para cada painel, capaz de garantir a correcta operacionalidade das diversas funções que compõem o SPCC.

### 3.2.1. QuickCMC

Este módulo de teste é o mais simples e mais intuitivo que é disponibilizado pelo *software*. Atendendo à sua flexibilidade ele permite executar vários tipos de ensaio desde especificações de tempos de actuação, funções de rampa e até injeção de correntes e tensões com as variáveis passo a passo. Mas como todo este processo é manual e atendendo às suas limitações de configuração, este teste terá que ser sistematicamente adaptado a cada

função a ensaiar. Este é o teste utilizado até ao momento no ensaio de Subestações AT/MT da EDP.

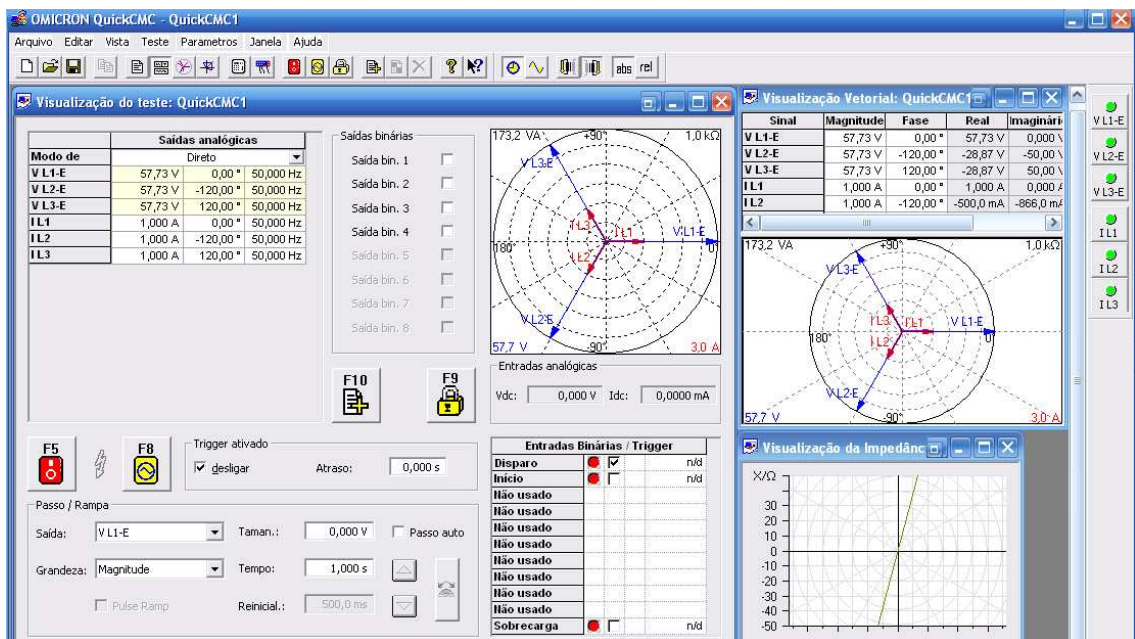


Figura 3.7 – “QuickCMC”: layout de teste e diagrama vectorial

### 3.2.2. Overcurrent

O módulo de teste *Overcurrent* disponibiliza a curva característica de actuação da função de protecção em função do tempo de disparo, parametrizado para defeitos fase-fase, fase-terra, sequência zero e sequência negativa. É disponibilizado o disparo em vários pontos do diagrama de actuação e o tempo de disparo destes é avaliado conforme a tolerância pré definida para a função que está ser testada. Estes dados são agregados numa tabela de pontos de teste.

#### 3.2.2.1. Critérios de avaliação

De uma forma automática este módulo inclui pontos de disparo no diagrama de acordo com os valores relativos da corrente nominal de cada patamar.

O módulo de teste compara o tempo de disparo em cada ponto do diagrama e compara-o com o tempo nominal pré definido afectado pela devida tolerância de actuação. Conforme o valor de actuação esteja dentro dos critérios estabelecidos é gerada uma avaliação automática de validação da característica previamente estabelecida.

### 3.2.2.2. Aplicações

Este módulo de ensaio foi utilizado na definição da característica de actuação para os defeitos de Máximo de Intensidade de Fase, Máximo de Intensidade Homopolar e Máximo de Intensidade Homopolar Direccional nos painéis com estas funções activas.

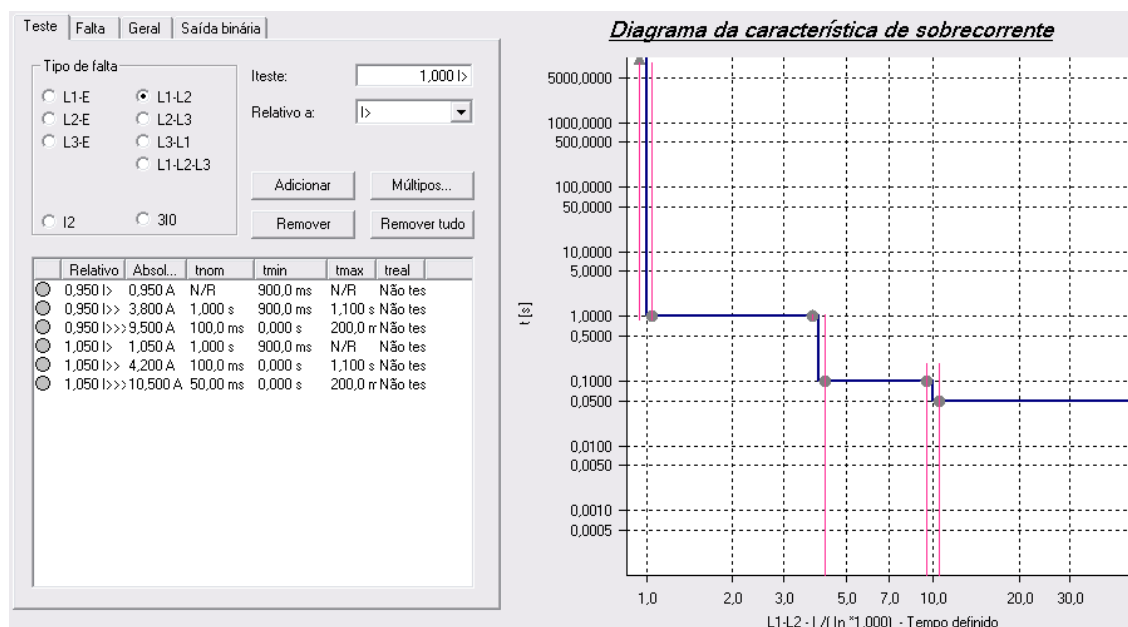


Figura 3.8 - Módulo “Overcurrent” utilizado no painel de Linha MT definido com 3 patamares de actuação e vários pontos de disparo

### 3.2.3. Verificador de estados

O módulo de teste *Verificador de Estados*, permite criar uma base de sinalizações e comandos, numa grelha que definirão os vários pontos de verificação a testar. Cada ponto da grelha, ou seja, cada função, poderá ser testada recorrendo a um disparo temporizado, a um disparo permanente ou apenas com base numa instrução. Este módulo permite criar janelas com avisos em forma de *pop-up* imediatamente antes de se executar qualquer teste.

#### 3.2.3.1. Critérios de avaliação

O Verificador de estados é o único módulo que submete o operador a verificar de uma forma não automática a correcta operacionalidade das funções que lhe estão pré-definidas. Assim por cada teste efectuado o operador terá que validar manualmente se a função especificada em cada uma das linhas da grelha cumpre os requisitos que lhe estão adjacentes.

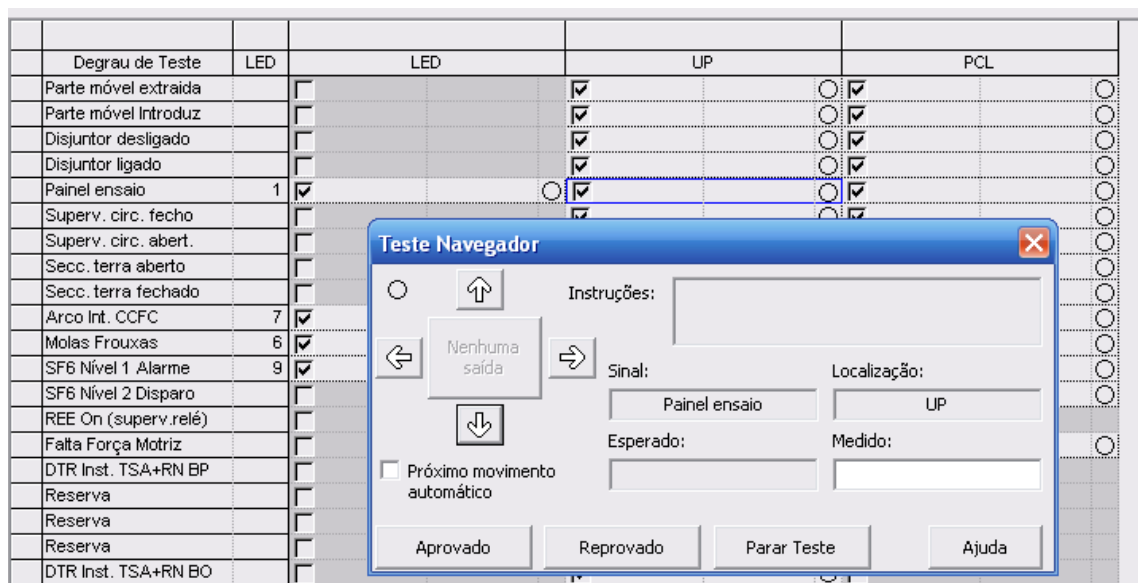
#### 3.2.3.2. Aplicações

Este módulo foi utilizado em todos os painéis testados, pois permite armazenar em base de dados, as informações relativas a entradas e saídas binárias específicas de cada painel.

Atendendo a que se verificou por parte da EDP a uma uniformização das características e ensaios aplicáveis aos SPCC das Subestações da EDP, a utilização deste módulo de testes permite englobar de uma forma pré-definida a verificação em qualquer subestação tipo das entradas e saídas binárias dependentes do processo do sistema.

A verificação dos LED`s da unidade de protecção também estão especificados neste formato e a sua operacionalidade é verificada recorrendo a esta característica.

Por último o teste baseado no verificador de avisos é capaz de recolher por intermédio do operador, as leituras das medidas analógicas nos diversos pontos de medida, submetendo-as a uma avaliação de conformidade definida pelo operador.



**Figura 3.9** - Módulo de verificador de avisos utilizado no painel de linha MT, associado às entradas binárias com o teste de painel em ensaio seleccionado e à espera de aprovação

### 3.2.4. Ramping

O módulo de teste *Ramping* como o nome indica gera rampas de amplitude, fase ou frequência para as saídas de corrente e tensão. Atendendo aos valores de actuação definidos pelos settings da protecção, definem-se, o valor inicial e final para a rampa, considerando o tempo de permanência da variável por cada passo incrementado. Este aspecto é relevante na medida em que, caso o tempo de actuação da função seja inferior ao tempo de permanência dum determinado estado da rampa, o valor obtido para avaliação não será o pretendido.

Uma outra característica deste módulo é a possibilidade de permitir ao operador controlar as variáveis de saída em qualquer momento do teste.

#### 3.2.4.1. Critérios de avaliação

A avaliação deste módulo é verificada através da criação de dependências na alteração do valor lógico das variáveis de estado com os valores nominais associados a esses valores.

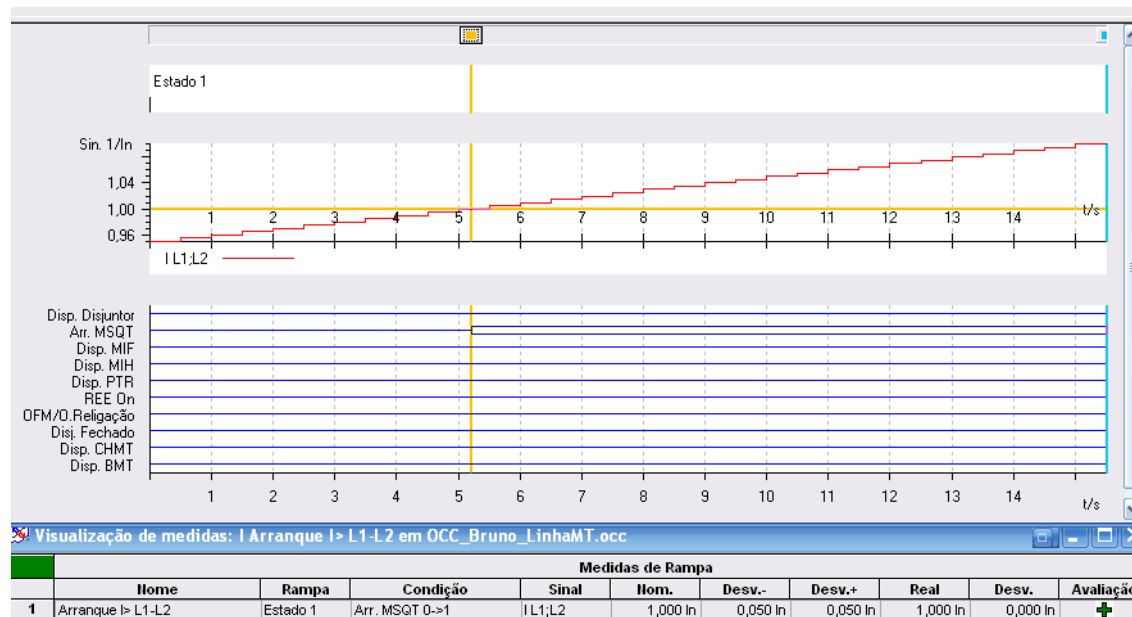


Figura 3.10 - Exemplo de teste de rampa utilizado, com zona de actuação pré definida para 1A, com o critério de avaliação a ser satisfeito. Variável de estado de arranque MIF transitou para o valor lógico de 1 precisamente nesse instante

### 3.2.4.2. Aplicações

Esta funcionalidade de teste é adequada para a verificação de zonas de operação e desoperação das funções. Com efeito, para cada uma das funções de protecção associadas a cada painel foi criado um teste que avaliasse a sua zona de operação e desoperação. Esta verificação não se cingiu a parâmetros de execução trifásicos e foi elaborada também de forma a certificar especificamente a actuação de cada fase.

### 3.2.5. State Sequencer

O *State Sequencer* é um módulo de testes que se caracteriza pela correlação entre vários estados podendo dar origem a uma sequência de teste. A parametrização de cada estado poder ser ajustada de uma forma independente em termos de amplitude, fase ou frequência. A transição entre eles depende de uma temporização pré-definida ou da condição de estado de uma qualquer variável que esteja configurada no hardware de entradas binárias externas.

Esta dependência de vários factores confere uma grande flexibilidade aos ensaios e permite uma adaptação dos mesmos às especificidades que o comissionamento ao Sistema de Protecção Comando e Controlo Numérico requer.

#### 3.2.5.1. Critérios de avaliação

Também no que respeita a este capítulo, o *State Sequencer* apresenta características ímpares. Neste aspecto o módulo de testes admite dois tipos distintos de avaliação, uma referente à verificação do tempo e outro dedicado à avaliação do nível. Refira-se que ambas

são independentes mas poderão ser correlacionadas. De facto na avaliação do nível, é criada uma tabela onde se especifica para cada estado a condição lógica das entradas binárias do sistema a cumprir sob determinado período específico de tempo.

	Avaliação do nível		
	Carga	Defeito - MIF - I >	Repouso
<b>Avaliação</b>	<b>+</b>	<b>×</b>	<b>+</b>
<b>Tolerância</b>	0,000 s	1,100 s	0,000 s
<b>Disp. Disjuntor</b>	X	X	X
<b>Arr. MSQT</b>	X	(1)	X
<b>Disp. MIF</b>	X	(1)	X
<b>Disp. MIH</b>	X	0	X
<b>Disp. PTR</b>	X	0	X
<b>REE On</b>	0	0	0
<b>OFM/O.Religação</b>	X	X	0
<b>Disj. Fechado</b>	X	X	0
<b>Disp. CHMT</b>	X	X	0
<b>Disp. BMT</b>	X	X	0

**Figura 3.11** - State Sequencer: critério de avaliação baseado na avaliação do nível. Neste caso não se verifica um total cumprimento das condições de validação. Existem duas variáveis que não satisfazem a condição de estado quando do “Defeito MIF-I>”

A possibilidade de avaliar o estado das dez (10) entradas binárias configuradas no sistema, em qualquer dos estados de teste, confere ao *State Sequencer* a capacidade de controlo e supervisão não apenas das variáveis em teste mas também de todas as outras que se encontram disponíveis e sujeitas a variações indesejáveis.

A eliminação deste vazio de informação relativa às variações não previstas de outras variáveis de estado que até agora não podiam ser controladas permitirão registar de forma automática as condições iniciais antes de se proceder ao teste, e as condições finais do sistema no final do mesmo.

### 3.2.5.2. Aplicações

Dada a flexibilidade de criação dos vários estados e atendendo aos critérios de avaliação disponíveis, estamos perante uma função capaz de certificar o cumprimento dos tempos de operação de qualquer tipo de defeito da rede. Por conseguinte este módulo de teste foi utilizado no desenvolvimento do modelo de ensaio para todos os painéis de forma a avaliar a correcta aferição do tempo de operação da protecção em análise.

Atendendo a que cada estado é definido pelas condições das saídas analógicas de tensão e/ou corrente e pelas saídas binárias, podemos proceder a uma alteração brusca e praticamente instantânea entre dois estados. Esta característica proporciona excelentes condições para a simulação da função de automatismo de religação do disjuntor.

A transição repentina entre vários estados de funcionamento sempre com todas as variáveis de estado sob avaliação em termos de estado e tempo, permitem monitorizar todo o processo do ciclo de religação quer rápida quer lenta e simultaneamente avaliar de forma automática todas as condições de verificação.

	1			2			3			4		
<b>Nome</b>	Carga			Defeito MIF l>>			Religação			Carga		
<b>V L1-E</b>	57,73 V	0,00 *	50,000 Hz	57,73 V	0,00 *	50,000 Hz	0,000 V	0,00 *	50,000 Hz	57,73 V	0,00 *	50,000 Hz
<b>V L2-E</b>	57,73 V	-120,00 *	50,000 Hz	57,73 V	-120,00 *	50,000 Hz	0,000 V	-120,00 *	50,000 Hz	57,73 V	-120,00 *	50,000 Hz
<b>V L3-E</b>	57,73 V	120,00 *	50,000 Hz	57,73 V	120,00 *	50,000 Hz	0,000 V	120,00 *	50,000 Hz	57,73 V	120,00 *	50,000 Hz
<b>I L1</b>	100,0 mA	0,00 *	50,000 Hz	4,100 A	0,00 *	50,000 Hz	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz	100,0 mA	0,00 *	50,000 Hz
<b>I L2</b>	100,0 mA	-120,00 *	50,000 Hz	4,100 A	-120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz	100,0 mA	-120,00 *	50,000 Hz
<b>I L3</b>	100,0 mA	120,00 *	50,000 Hz	4,100 A	120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz	100,0 mA	120,00 *	50,000 Hz
<b>V(2)-1</b>	0,000 V	0,00 *	50,000 Hz	0,000 V	0,00 *	50,000 Hz	0,000 V	0,00 *	50,000 Hz	0,000 V	0,00 *	50,000 Hz
<b>I(2)-1</b>	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz	0,000 A	0,00 *	50,000 Hz
<b>I(2)-2</b>	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	-120,00 *	50,000 Hz
<b>I(2)-3</b>	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz	0,000 A	120,00 *	50,000 Hz
<b>CMC Rel</b>	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active		
<b>Trigger</b>		6,000 s			1,000 s			2,000 s			1,000 s	

Figura 3.12 - “State Sequencer”: exemplo de utilização de uma sequência de quatro estados, responsáveis pelo ensaio de uma função de religação. Neste modo de visualização apenas são perceptíveis as definições de saídas de cada estado bem como o tempo de permanência respectivo

Estas particularidades permitem justificar de forma clara a utilização específica de cada um dos módulos de teste do *software Test Universe* na elaboração do modelo de ensaios capaz de certificar e validar o funcionamento do Sistema de Comando e Controlo das Subestações da EDP Distribuição.

# Capítulo 4

## MODELO DE ENSAIO

Neste capítulo vou abordar a constituição do modelo de ensaio desenvolvido com mais detalhe incidindo com maior objectividade na constituição de cada teste. Atendendo a que o ficheiro elaborado é constituído por quatrocentos e trinta e cinco (435!) módulos de teste no painel de Linha MT, por cento e três (103!) no painel de Bateria de Condensadores, oitenta e um (81!) no painel de TSA+RN e quarenta e quatro (44!) no painel de chegada, não me será possível descrever individualmente todos os módulos! Com efeito irei analisar com detalhe o modelo desenvolvido para o painel de Linha MT, pois trata-se do modelo mais completo e aquele que contempla todos os módulos utilizados nos painéis que foram desenvolvidos. As diferenças residirão na definição das condições de verificação. Por esse motivo será analisado um módulo tipo respeitante ao painel de Linha MT.



Figura 4.1 - Estrutura do modelo de teste utilizado na LINHA MT

## 4.1. Estrutura

O modelo de ensaio desenvolvido com vista a automatizar, testar e validar os ensaios de comissionamento das Subestações AT/MT de Distribuição da EDP Distribuição, é composto por um ficheiro por painel tipo a ser ensaiado. Cada ficheiro de teste tem a seguinte estrutura:

- Configuração do equipamento em teste
- Configuração de hardware
- Verificações preliminares
- Entradas digitais
- Saídas digitais
- Medidas analógicas
- Funções de protecção
- Função de automatismo de religação (Apenas aplicável aos Painéis de LINHA)

Na configuração do equipamento em teste são introduzidas informações relativas à subestação que está a ser alvo de ensaios, e também se definem os patamares das funções de protecção de Fase-Fase e Fase-Neutro que estão activos. Os respectivos settings com valores e tempos de actuação dos referidos patamares também são aqui especificados. Estas informações serão utilizadas pelo módulo de teste *OVERCURRENT* de forma a parametrizar o respectivo diagrama de actuação com base nos quais irá avaliar os valores de actuação do ensaio.

Na configuração de hardware são definidas as variáveis de estado que irão ser utilizadas pelos módulos de teste. Esta configuração está restrita ao número de dez (10) e sujeita às restrições impostas pela disponibilização das sinalizações por parte do esquema eléctrico de cada painel.

Nas verificações preliminares são registadas informações relativas às unidades de protecção de cada painel. Informações respeitantes a números de série, versões de *firmware*, versões de comunicação, números de IP`s, entre outras.

Nas entradas digitais inicia-se a utilização dos módulos de teste descritos no capítulo anterior. Com efeito, este ensaio utiliza o “Verificador de Eventos” para armazenar as informações de cada uma das entradas binárias da unidade de protecção especificadas na *Nota Técnica* da EDP [6] específica do painel em estudo. Além das entradas binárias os respectivos *LED`s* também são alvo de verificação e avaliação de operacionalidade.

Tal como referido anteriormente, nas saídas binárias o processo de verificação é feito recorrendo ao “Verificador de Eventos”. Todas as saídas externas da unidade de protecção definidas na *Nota Técnica* [6] da EDP estão parametrizadas no módulo de teste de forma a

serem verificadas pelo operador. A elaboração dos módulos relativos às entradas e saídas binárias bem como às medidas analógicas, respeita as especificações normativas assentes no documento da EDP Distribuição, “Sistemas de Protecção, Comando e Controlo Numérico (SPCC), Dispositivos Electrónicos Inteligentes. - Entradas e saídas externas” [8].

As medidas analógicas constituem um teste à correcta electrificação dos circuitos analógicos do painel, bem como à correcta parametrização da unidade de protecção no que respeita às relações de transformação em vigor. Neste ponto o operador terá que registar no próprio teste os valores lidos nas respectivas unidades de medidas. Os valores a injectar já estão previamente definidos e correspondem aos valores nominais de cada medida.

O ponto seguinte inclui as funções de protecção aplicáveis ao respectivo painel e condições de validação impostas pelo documento normativo da EDP Distribuição, “Sistemas de Protecção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Funções de protecção; Especificação funcional” [7]. Estas estão agrupadas por grupo de *settings*, segundo:

**Tabela 4.1 - Definição do grupo de *settings***

	Regime de Neutro	Tipo de Religação
Grupo A	Impedante	Rápida
Grupo B	Impedante	Rápida-Lenta-Lenta
Grupo C	Isolado	Rápida
Grupo D	Isolado	Rápida-Lenta-Lenta

Por último temos a função de automatismo de religação que apenas é aplicável ao painel de Linha MT e inclui as condições de verificação impostas pelo documento normativo da EDP Distribuição, “Função de automatismo: Religação rápida e/ou lenta - Especificação funcional para Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição” [9].

## 4.2. Painel de Linha MT

O modelo de teste para o painel de Linha MT segue a estrutura base descrita no ponto anterior. Com efeito vou caracterizar mais detalhadamente os testes específicos deste tipo de painel.

### 4.2.1. Configuração do equipamento em teste

Para a configuração do *equipamento em teste* foi definido o escalonamento conforme as figuras 4.2 e 4.3:

Seleção do grupo de falta		
<input type="radio"/> Direcional <input checked="" type="radio"/> Não direcional		
Parâmetros I/t do grupo de falta selecionado		
Ativo	I pickup	Tempo
<input checked="" type="checkbox"/> I>	1,000 In	1,000 s
<input checked="" type="checkbox"/> I>>	4,000 In	0,100 s
<input checked="" type="checkbox"/> I>>>	10,000 In	0,050 s

Figura 4.2 - Parametrização utilizada para defeitos de MIF com três patamares de actuação

Seleção do grupo de falta		
<input type="radio"/> Direcional <input checked="" type="radio"/> Não direcional		
Parâmetros I/t do grupo de falta selecionado		
Ativo	I pickup	Tempo
<input checked="" type="checkbox"/> I>	0,100 In	0,400 s
<input checked="" type="checkbox"/> I>>	0,200 In	0,200 s
<input checked="" type="checkbox"/> I>>>	0,400 In	0,100 s

Figura 4.3 - Parametrização utilizada para defeitos de MIH com três patamares de actuação

### 4.2.2. Configuração de hardware

A configuração de hardware requer uma análise cuidada dos requisitos do sistema de protecção com vista a seleccionar as variáveis indispensáveis para o seu bom funcionamento. Com efeito, o painel de linha MT obedece à seguinte configuração,

Configuração de hardware		CMC356 ?????																			
		Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	Binário	
Função		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Limiar																					
Etiqueta	Terminal de conexão	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	5+	5-	6+	6-	7+	7-	8+	8-	9+	9-	10+	10-
Disp. Disjuntor		X																			
Arr. MSQT				X																	
Disp. MIF						X															
Disp. MIH								X													
Disp. PTR										X											
REE On												X									
OFM/O Religação														X							
Disj. Fechado															X						
Disp. CHMT																X					
Dis. BMT																		X			
Entr. bin. 11																					X
Entr. bin. 12																					

Figura 4.4 - Configuração de hardware utilizada no modelo de testes do painel de Linha MT

Atendendo aos sinais de entradas e saídas externas disponíveis, entendi que estes seriam os mais adequados para posteriormente se parametrizar os testes de validação.

Relativamente à configuração das saídas analógicas ficaram activas as duas saídas analógicas associadas às tensões e correntes de saída da mala de ensaios.

### 4.2.3. Entradas digitais

As entradas digitais associadas ao painel de Linha MT estão especificadas na *nota técnica* [6] e nos documentos normativos [8] em vigor. O módulo de teste foi concebido com as seguintes entradas,

Degrau de Teste	LED	LED	UP	PCL
Parte móvel extraída	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Parte móvel Introduz	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Disjuntor desligado	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Disjuntor ligado	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Painel ensaio	1 <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Superv. circ. fecho	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Superv. circ. abert.	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Secc. terra aberto	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Secc. terra fechado	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Arco Int. CCFC	7 <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Molas Frouxas	6 <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SF6 Nível 1 Alarime	9 <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SF6 Nível 2 Disparo	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
REE On (superv.relé)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Falta Força Motriz	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
DTR Inst. TSA+RN BP	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>
Reserva	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DTR Inst. TSA+RN BO	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="radio"/>

Figura 4.5 - Entradas digitais e respectivos LED`s configuradas no painel de Linha MT

Este teste está concebido de forma a que o operador actue cada uma das sinalizações descritas na coluna do lado esquerdo, que correspondem às entradas binárias específicas do painel de linha, e verifique a sua correcta actuação e descrição tanto na unidade de protecção como no Posto de Comando Local. O teste disponibiliza um cursor que permite ao operador navegar por entre os sinais da grelha para que este proceda à aprovação ou reprovação individual do teste. Como se pode verificar também os *LED`s* associados à respectiva função deverão ser alvo de validação. No interior de cada círculo aparecerá a avaliação respectiva, ou aprovada ou não aprovada.

#### 4.2.4. Saídas Digitais

De uma forma análoga à verificada no ponto anterior, o teste de validação das saídas binárias é efectuado com base no *Verificador de Eventos*.

Degrau de Teste	LED	LED	Destino	UP	PCL
REE Normal	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
REE Especial	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arranque MIF/MIH/PTR	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Disparo MIF	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Disjuntor Abrir	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Disjuntor fechar	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Disparo MIH	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Disparo PTR	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Watchdog	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 4.6 - Saídas digitais e respectivos LED`s configuradas no painel de Linha MT

Nesta situação o operador accionará o sinal apresentado na coluna do lado esquerdo e com o navegador de teste navega por cada uma das células da grelha de forma a verificar a correcta actuação da função, deixando uma avaliação positiva ou negativa. Em caso de verificação de não conformidade, o operador poderá introduzir as informações que achar relevantes num separador no navegador de teste específico para cada célula da grelha.

#### 4.2.5. Medidas analógicas

Este ponto do modelo de teste procura certificar que a electrificação do circuito de medidas analógicas está correctamente estabelecida. Assim,

Degrau de Teste	LED	Unidade de Protecção	PCL	Unidade de Protecção	PCL
Fase L1	<input checked="" type="checkbox"/>	IL1	<input type="checkbox"/>	UL1-E	<input type="checkbox"/>
Fase L2	<input checked="" type="checkbox"/>	IL2	<input type="checkbox"/>	UL2-E	<input type="checkbox"/>
Fase L3	<input checked="" type="checkbox"/>	IL3	<input type="checkbox"/>	UL3-E	<input type="checkbox"/>
Sistema Directo	<input checked="" type="checkbox"/>	I1 > 0	<input type="checkbox"/>	U1 > 0	<input type="checkbox"/>
Sistema Homop. Somat	<input checked="" type="checkbox"/>	In=3*Ifase	<input type="checkbox"/>	Un=3*Ifase	<input type="checkbox"/>
Sistema Homopolar	<input checked="" type="checkbox"/>	Ien	<input type="checkbox"/>	Uen	<input type="checkbox"/>
Potência	<input checked="" type="checkbox"/>	Activa	<input type="checkbox"/>	Reactiva	<input type="checkbox"/>

Figura 4.7 - Medidas analógicas do Painel de Linha MT

todas as medidas associadas à descrição da coluna do lado esquerdo, têm pré-definidos valores de injeção de correntes e tensões. O operador vai percorrer cada uma das células da grelha com o auxílio do navegador de teste e vai fazer correr cada teste em cada célula. Simultaneamente procede ao registo dos valores lidos nas unidades referidas, num separador disponibilizado no teste para o efeito. Estes valores devem estar de acordo com o especificado em cada célula.

Antes de passar para as funções de protecção queria referir que os módulos de teste descritos anteriormente geram e transmitem automaticamente a nível individual para um relatório geral as condições iniciais de ensaio, as condições de execução do ensaio e uma

tabela com o registo de todos os resultados. Em anexo será disponibilizado um relatório específico para o painel de Linha em análise.

#### 4.2.6. Funções de protecção

Nesta secção serão abordados em pormenor os testes que serão responsáveis por garantir a operacionalidade das funções de protecção associadas a um qualquer painel de Linha MT de uma qualquer Subestação AT/MT da EDP Distribuição.

Tabela 4.2 - Quadro resumo da aplicação de cada função de protecção nas diversas condições de exploração

Designação da função		Actuação				
Base de Dados	Projecto-tipo	Disj.	REA	REB	Falha Disj	Relig.
MAX I>	Max. Inf. Fase 1º nível	X	X	X	X	
MAX I>>	Max. Inf. Fase 2º nível	X	X	X	X	X
MAX I>>>	Max. Inf. Fase 3º nível	X	X	X	X	
MAX Io>	Max. Inf. Homop. Direc. 1º nível	X	X		X	
MAX Io>>	Max. Inf. Homop. Direc. 2º nível	X	X		X	X
MAX Io>D	Max. Inf. Homop. Direc. 3º nível	X	X		X	X
PROT TERRAS RESIST	Max. Inf. Homop. Terras Resist.	X			X	X
PROT ARRANQUE A FRIIO	Coald Load Pickup/ Inrush restraint					
CONDUTOR DA LINHA	Condutor partido					

##### 4.2.6.1. Máximo de Intensidade de Fase (MIF)

Como referido no ponto 3.1, os testes às funções de protecção estão agrupados conforme o grupo de settings respectivo. Assim para o início do ensaio da função de máxima intensidade de fase, foi criado um ponto de interrupção que solicita ao operador a alteração do grupo de settings em vigor na subestação para o grupo A. A passagem para o teste seguinte só é efectuada depois de confirmada tal instrução.

O primeiro teste a ser efectuado é o da característica de actuação. Este será executado para cada combinação possível de defeito fase-fase e para um defeito trifásico. Como já foi referido no ponto 3.2.1 a característica definida por *setting* para a função de MIF é de tempo definido, sendo estes parâmetros definidos aquando da configuração do equipamento em teste.

Os pontos de disparo a ensaiar também já estão pré-determinados sendo 90% e 110% da corrente nominal de cada patamar especificado [1]. Os critérios de avaliação são automaticamente definidos com base nos tempos de actuação pré-definidos, inseridos na configuração do equipamento. Assim o critério de avaliação será o seguinte,

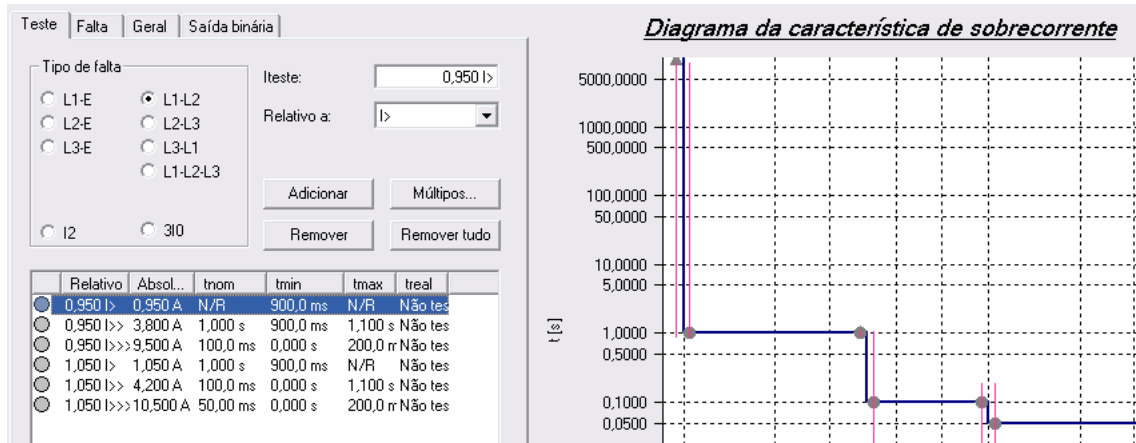


Figura 4.8 - Critério de avaliação para o teste de “Overcurrent”

ou seja, no primeiro ponto não deverá existir disparo pois o ponto não está dentro da zona de disparo do primeiro patamar I>, no segundo o tempo de actuação será de 1s correspondente ao patamar de I>, no terceiro será 100ms pois refere-se já ao patamar de corrente I>>. Os três últimos pontos terão tempos de actuação nominais de 1s, 100ms e 50ms, respectivamente para os patamares I>, I>>, e I>>>.

O grupo de testes seguinte procura determinar a corrente mínima de operação que despoleta o arranque da função de protecção. Este valor de actuação será determinado para cada combinação possível de defeito fase-fase e para um defeito trifásico. O módulo de teste a utilizar é o *Ramping* e a sua implementação contempla a criação de uma rampa com início num valor de corrente não susceptível de provocar o arranque da função. Define-se portanto um intervalo de injeção através do qual a corrente será incrementada com pulsos significativamente curtos capazes de garantir a verificação do arranque da função em estudo. Posto isto, é necessário definir um critério automático de avaliação dessa actuação. No exemplo ilustrado, definiu-se que a condição de mudança de estado da entrada binária correspondente à sinalização de “Arranque I> L1-L2” teria que comutar o seu valor lógico de zero (0) para um (1), com um valor nominal de actuação pré-definido e sujeito a uma tolerância não superior a cinquenta (50) miliamperes. Note-se a partir da figura 4.9, na particularidade do operador poder controlar em tempo real o estado de todas as variáveis do sistema configuradas para este painel.

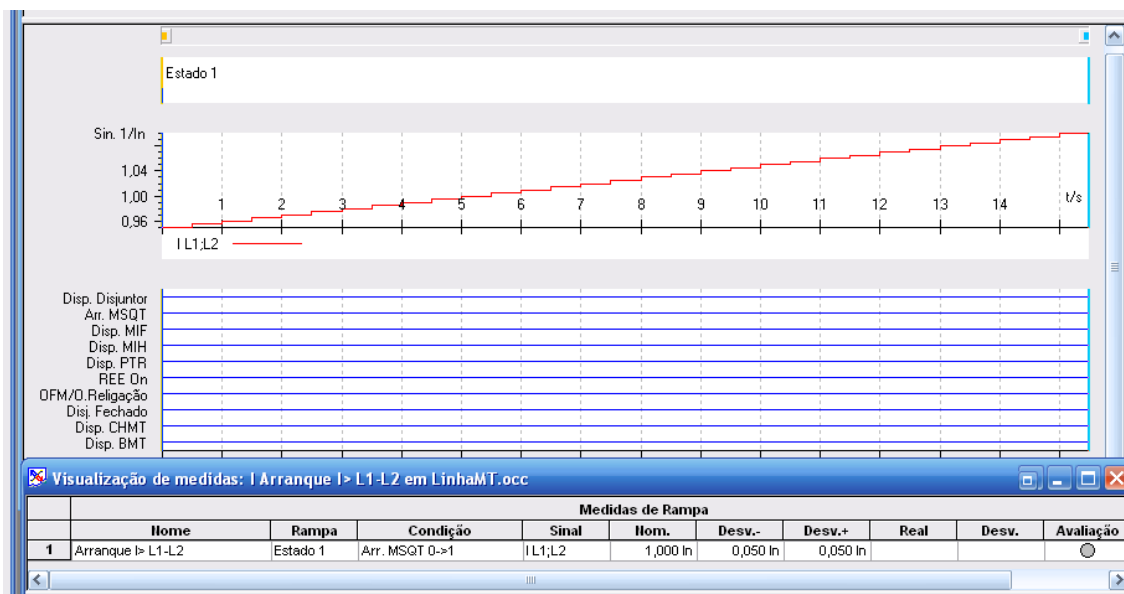


Figura 4.9 - Critério de avaliação para a determinação da mínima corrente de operação para um defeito fase-fase

Para o ensaio de patamares de corrente de níveis superiores ( $I >>$  e  $I >>>$ ), aos da função actual é necessário proceder à desactivação da função de patamar mais baixo pois este irá provocar a actuação da função de arranque da protecção num patamar que não é o desejado. Tal instrução é automaticamente gerada pelo modelo de teste.

O teste seguinte pretende verificar a mínima corrente de desoperação da função. Assim, foi criada uma rampa simétrica àquela que deu origem à corrente de operação. O critério de validação também será distinto na medida em que a condição de mudança de estado da entrada binária correspondente à sinalização de “Arranque I> L1-L2” passaria a ser a comutação do seu valor lógico de um (1) para zero (0).

The figure shows a software window titled "Arquivo Editar Vista Teste Parametros Janela Ajuda". It contains a table with three columns representing different states: 1 (Carga), 2 (Defeito - MIF - I >), and 3 (Repouso).

	1			2			3		
Nome	Carga			Defeito - MIF - I >			Repouso		
V L1-E	1,000 Vn	0,00 °	1,000 fn	1,000 Vn	0,00 °	1,000 fn	1,000 Vn	0,00 °	1,000 fn
V L2-E	1,000 Vn	-120,00 °	1,000 fn	1,000 Vn	-120,00 °	1,000 fn	1,000 Vn	-120,00 °	1,000 fn
V L3-E	1,000 Vn	120,00 °	1,000 fn	1,000 Vn	120,00 °	1,000 fn	1,000 Vn	120,00 °	1,000 fn
IL1	0,100 In	0,00 °	1,000 fn	1,100 In	0,00 °	1,000 fn	0,000 In	0,00 °	1,000 fn
IL2	0,100 In	-120,00 °	1,000 fn	1,100 In	-120,00 °	1,000 fn	0,000 In	-120,00 °	1,000 fn
IL3	0,100 In	120,00 °	1,000 fn	1,100 In	120,00 °	1,000 fn	0,000 In	120,00 °	1,000 fn
V(2)-1	0,000 Vn	0,00 °	1,000 fn	0,000 Vn	0,00 °	1,000 fn	0,000 Vn	0,00 °	1,000 fn
I(2)-1	0,000 In	0,00 °	1,000 fn	0,000 In	0,00 °	1,000 fn	0,000 In	0,00 °	1,000 fn
I(2)-2	0,000 In	0,00 °	1,000 fn	0,000 In	0,00 °	1,000 fn	0,000 In	0,00 °	1,000 fn
I(2)-3	0,000 In	0,00 °	1,000 fn	0,000 In	0,00 °	1,000 fn	0,000 In	0,00 °	1,000 fn
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger		2,000 s			2,000 s			2,000 s	

Figura 4.10 - Número de estados definidos no “State Sequencer” para determinação do tempo de actuação da função de MIF

A figura 4.10, apresenta os estados definidos no módulo de teste “State Sequencer” configurados para a determinação do tempo de operação da função de Máximo de Intensidade

de Fase. Podemos verificar a existência de três estados distintos, cada um dos quais com a sua definição de valores de saída. O primeiro, denominado estado de carga visa simular uma situação de funcionamento normal em que esteja a ser alimentada uma pequena carga. O tempo de permanência neste estado está definido em dois (2) segundos. Terminado este tempo o teste transita para o estado seguinte que corresponde a uma situação de defeito MIF com o valor de corrente acima do valor pré-definido de arranque. Neste instante a protecção deve dar início ao arranque da função de protecção temporizando a ordem de saída de disparo ao disjuntor<sup>1</sup> [10]. Mas neste caso quanto tempo é que o teste se deve manter neste estado? De facto o módulo de teste “State Sequencer” permite ajustar o tempo de permanência num estado durante uma temporização pré-definida ou então até que se verifique a alteração de qualquer variável de entrada do sistema.

Término do estado

Entrada(s) binária(s) e/ou intervalo

Utilize a condição de trigger binário como especificado abaixo

Interrupção:

Condição Trigger binário

Lógica trigger:  E  OU

Entrada	Etiqueta	Estado
1	Disp. Disjuntor	1
2	Arr. MSQT	X
3	Disp. MIF	X
4	Disp. MIH	X
5	Disp. PTR	X
6	REE On	X
7	OFM/O.Religação	X
8	Disj. Fechado	X
9	Disp. CHMT	X
10	Disp. BMT	X

Figura 4.11 - Definição de permanência num estado de forma temporizada juntamente com a utilização da condição de uma entrada binária

Como se pode analisar neste caso específico foram definidas duas condições de permanência no segundo estado, uma sujeita ao estado activo um (1) da sinalização de Disparo do disjuntor e outra sujeita à temporização de dois (2) segundos. A selecção da condição “e/ou” define se o critério exige a verificação das duas condições - “e”, ou apenas aquela que se verificar primeiro - “ou”. Notar também que a temporização definida para este estado deve ser sempre superior ao tempo nominal de actuação da função de protecção sob pena de não se verificar a actuação da mesma.

<sup>1</sup> Condição de funcionamento da função de protecção da unidade de protecção *Siemens-7SJ54*

A transição para o estado seguinte é o próximo passo da sequência de teste, e neste caso corresponde a um estado final de repouso. Neste estado não estão definidos valores de corrente pois é presumido que o disjuntor foi aberto.

Relativamente aos critérios de avaliação para o teste em questão, o módulo “State Sequencer” permite-nos parametrizar critérios distintos, tanto em termos de avaliação de tempos como em termos de avaliação de níveis.

Avaliação do Tempo										
	Nome	Ignorar antes	Iniciar	Parar	Tnom	Tdesv-	Tdesv+	Treal	Tdesv	Avaliação
1	Tempo operação	Defeito - MIF - I >	Defeito - MIF - I >	Disp. Disjuntor 0>1	1,000 s	100,0 ms	100,0 ms	3,010 s	2,010 s	✗

Avaliação do nível			
	Carga	Defeito - MIF - I >	Repouso
Avaliação	+	✗	+
Tolerância	0,000 s	1,100 s	0,000 s
Disp. Disjuntor	X	X	X
Arr. MSQT	X	(1)	X
Disp. MIF	X	(1)	X
Disp. MIH	X	0	X
Disp. PTR	X	0	X
REE On	0	0	0
OFM/O.Religação	X	X	0
Disj. Fechado	X	X	0
Disp. CHMT	X	X	0
Disp. BMT	X	X	0

Figura 4.12 - Critério de avaliação para a determinação do tempo de operação para a função MIF. Exemplo de teste não aprovado

O objectivo base deste teste é determinar o tempo de operação da função. Para determinar esse tempo e proceder de uma forma automática à sua avaliação define-se no critério de avaliação por tempo, o estado da sequência de teste a partir do qual se pretende iniciar a temporização. No exemplo em questão e dado o objectivo proposto pelo teste, iniciou-se a contagem do tempo no segundo estado, ou seja, o estado caracterizado pela simulação do defeito. O critério de paragem do tempo deverá temporizar a contagem até se verificar a abertura do disjuntor [7], ou seja, até que o valor lógico da variável associada ao disparo do disjuntor comute o valor de zero (0) para um (1). A avaliação automática é definida pela comparação do tempo calculado com o tempo nominal previamente especificado para a actuação desta função de protecção. No exemplo ilustrado na figura 4.12, o critério de avaliação não foi satisfeito pois o tempo calculado para a actuação do disjuntor foi de 3,010s quando o tempo nominal previsto era de 1s sujeito a uma tolerância de 10%. Verificou-se um desvio de 2,010s.

Além da possibilidade de se proceder à avaliação do tempo, o critério associado à avaliação por nível permite monitorizar e controlar o estado de todas as variáveis configuradas. Podem assim definir-se critérios de avaliação de estados funcionais para qualquer momento da sequência de testes que se esteja a executar. Esta ferramenta é particularmente útil para definir a avaliação automática de todas as variáveis que até não

estão dependentes do teste em questão, mas por um erro do sistema possam vir a sofrer alguma alteração. Assim na avaliação do teste ilustrado parametrizou-se que no estado de “Defeito MIF I>“, as sinalizações referentes ao arranque e disparo da função de protecção em causa têm que tomar o valor lógico de um (1). Por outro lado, também se deve verificar a permanência dos valores lógicos associados aos disparos de Máxima Intensidade Homopolar e PTR no valor nulo zero (0).

As restantes sinalizações garantem que o Regime Especial de Exploração não está activo, que não existiu nenhuma ordem de fecho ao disjuntor, quer manual quer interna, que o disjuntor efectivamente comutou de estado e que não existiram ordens de disparo ao disjuntores do painel de Chegada MT nem ao de Barras MT.

Conforme requisito do documento normativo [7] e [12], os tempos de actuação das funções de protecção sofrem alterações conforme o regime de exploração que se verifique na subestação. Com efeito, caso se verifique o regime de exploração A ou B, as unidades de protecção devem alterar os tempos de actuação dos três patamares da função MIF para que actuem de uma forma instantânea.

O ensaio a esta funcionalidade está previsto no modelo de ensaio desenvolvido. Para criar as condições de execução exigidas o ciclo automático de teste será interrompido devido à criação de um ponto de interrupção onde é dada a instrução ao operador para proceder à alteração do regime de exploração da subestação para o grupo A e posteriormente para o B. Para garantir a referida alteração, a passagem para o próximo teste só é efectuada após confirmação por parte do operador. O ensaio propriamente dito, será então iniciado e terá uma estrutura em todo semelhante ao analisado na determinação do tempo de operação para a função MIF. As únicas alterações a observar, têm a ver com os critérios de avaliação. Isto porque o tempo de actuação especificado deixará de ser o definido para a função de protecção e passará a ser de zero (0) segundos. Na avaliação do nível foi alterado o requisito de estado da função de “REE On” de zero (0) para um (1) em todos os estados do teste.

Uma função de teste criada neste modelo capaz de assegurar o ensaio da protecção para a função “Arranque a Frio” [7] também foi assegurada. Neste caso, o teste é composto por cinco (5) estados, sendo que o primeiro simula uma condição de painel desligado. Volvidos dois (2) segundos dá-se a transição para o estado dois (2) que define um aumento instantâneo da corrente, simulando a ligação da carga ao painel. Este valor de corrente representa duas vezes a corrente de arranque do primeiro patamar da função. Nos critérios de avaliação foi definida a permanência do estado do disjuntor como fechado e a estabilidade das funções de arranque e disparo. Nos estados seguintes teremos uma repetição do defeito mas neste caso precedido por um estado onde é considerada uma situação de carga.

	1			2			3			4			5		
Nome	Em vazio			Aumento brusco carga			Repouso			Aumento brusco carga			Repouso		
V L1-E	0,00 Vn	0,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	0,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	0,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	0,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	0,00 *	1,000 fn
V L2-E	0,00 Vn	-120,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	-120,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	-120,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	-120,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	-120,00 *	1,000 fn
V L3-E	0,00 Vn	120,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	120,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	120,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	120,00 *	1,000 fn	1,000 Vn	120,00 *	1,000 fn
IL1	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	2,100 In	0,00 *	1,000 fn	0,100 In	0,00 *	1,000 fn	2,100 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn
IL2	0,000 In	-120,00 *	1,000 fn	2,100 In	-120,00 *	1,000 fn	0,100 In	-120,00 *	1,000 fn	2,100 In	-120,00 *	1,000 fn	0,000 In	-120,00 *	1,000 fn
IL3	0,000 In	120,00 *	1,000 fn	2,100 In	120,00 *	1,000 fn	0,100 In	120,00 *	1,000 fn	2,100 In	120,00 *	1,000 fn	0,000 In	120,00 *	1,000 fn
I(2)-1	0,000 Vn	0,00 *	1,000 fn	0,000 Vn	0,00 *	1,000 fn	0,000 Vn	0,00 *	1,000 fn	0,000 Vn	0,00 *	1,000 fn	0,000 Vn	0,00 *	1,000 fn
I(2)-1	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn
I(2)-2	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn
I(2)-3	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn	0,000 In	0,00 *	1,000 fn
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger	2,000 s			2,000 s			2,000 s			2,000 s			2,000 s		

Figura 4.13 - Disposição dos estados referentes ao teste de "Arranque a frio"

É condição de aprovação, que neste caso se verifique a actuação das saídas de arranque e disparo da protecção com a consequente abertura do disjuntor.

	Avaliação do Nível				
	Em vazio	Aumento brusco	Repouso	Aumento brusco	Repouso
<b>Avaliação</b>					
<b>Tolerância</b>	0,000 s	1,100 s	0,000 s	1,100 s	0,000 s
<b>Disp. Disjuntor</b>	X	0	X	1	X
<b>Arr. MSQT</b>	X	0	X	1	X
<b>Disp. MIF</b>	X	0	X	1	X
<b>Disp. MIH</b>	X	0	X	0	X
<b>Disp. PTR</b>	X	0	X	0	X
<b>REE On</b>	0	0	0	0	0
<b>OFM/O.Religação</b>	X	X	X	X	X
<b>Disj. Fechado</b>	1	1	1	1	0
<b>Disp. CHMT</b>	X	0	0	0	0
<b>Disp. BMT</b>	X	0	0	0	0

Figura 4.14 - Critérios de avaliação para o teste de "Arranque a Frio"

Outro requisito de funcionamento para o sistema Protecção, Comando e Controlo (SPCC) das Subestações de Distribuição é a abertura dos disjuntores da respectiva Chegada MT e Barras MT em caso de detecção de falha na actuação do circuito de comando de abertura do disjuntor [7]. Este processo deverá ocorrer duzentos milissegundos após a temporização da respectiva função de protecção [11]. Para ensaiar esta funcionalidade, foi criado um ponto de interrupção na sequência de testes automática, de forma a dar a instrução ao operador para interromper o circuito de disparo do disjuntor. Este procedimento vai impedir que a ordem de disparo da unidade de protecção chegue à bobine de disparo do disjuntor impedindo este de abrir.

Assim é dado início ao ensaio utilizando uma sequência de testes semelhante ao da determinação do tempo de operação da função. No entanto a condição de paragem no segundo estado, é substituída pelo disparo dos disjuntores da Chegada MT mais “e” Barras MT. No critério de avaliação do teste é definida a condição de tempo respeitante à abertura dos disjuntores da Chegada MT e Barras MT, num valor correspondente ao tempo de operação da função que deu origem ao disparo, acrescida de duzentos milissegundos. Na avaliação do nível deve ser garantido que a posição do disjuntor se mantém fechada.

Atendendo a que a ordem de abertura relativa à falha na actuação do disjuntor é efectuada por comunicação [10] e [12] foi desenvolvido um teste para avaliar o requisito que inibe o envio de qualquer informação para a rede a partir da unidade, no caso do painel estar em ensaio. Para o efeito foi criado novo ponto de interrupção a solicitar a colocação do painel em ensaio e uma sequência de estados similar à definida anteriormente. Nas condições de validação foi alterado o requisito de abertura dos disjuntores de Chegada MT e Barras MT para o estado lógico de zero (0).

Outro requisito [11], é o da não emissão da ordem de abertura à Chegada MT e Barras MT, no caso da abertura do disjuntor com a permanência do defeito. Associado a este, existem outros que estipulam a alteração do estado funcional do disjuntor. Para o efeito foram criados quatro testes, em que para o estado inicial de:

- Disjuntor fechado e introduzido
- Disjuntor fechado e extraído
- Disjuntor indefinido
- Bloco indefinido

Para cada um destes ensaios foram gerados três 3 estados de teste. De forma a simular os requisitos especificados, no estado de defeito não foi definido critério de paragem com a actuação da saída de disparo do disjuntor. Esta situação garante que apesar do disjuntor passar ao estado de aberto o defeito mantém-se. Para que o ensaio se torne apto, é necessário definir como critério de avaliação de nível, que em nenhuma das quatro situações se verifique a abertura dos disjuntores de Chegada MT nem do Barras MT. Queriria salientar que para a colocação em prática de cada uma das situações iniciais descritas foi criado um ponto de interrupção com essa instrução.

#### *4.2.6.2. Máximo de Intensidade Homopolar (Direccional)*

Para o ensaio relativo aos defeitos do tipo Máximo de Intensidade Homopolar, foi definida uma estrutura de testes similar àquela que foi aplicada para a função de protecção referida na secção anterior. Neste caso as alterações mais relevantes são aquelas que se referem aos parâmetros específicos da função como valores e tempos de actuação. Nos critérios de avaliação por nível serão substituídas as actuações dos disparos por MIF para disparos por MIH.

Relativamente ao ensaio de Máximo de Intensidade Homopolar Direccional, foram desenvolvidos parâmetros de testes que abordassem a especificidade deste tipo de defeito. Este tipo de defeito é bastante peculiar pois está sujeito não só à actuação de uma componente de corrente no toro como também à presença de uma tensão de polarização adquirida no sistema homopolar que lhe confere a possibilidade de definir uma direcção de actuação da função de protecção [7]. Neste aspecto o modelo desenvolvido permite uma

grande capacidade de controlo das variáveis associadas e delimita com grande rigor a direccionalidade na actuação desta função.

Com efeito, o teste desta função é iniciado por um ponto de interrupção que solicita ao operador que desactive a função de PTR pois esta interferiria com os ensaios que se sucedem. Depois de confirmada a instrução inicia-se o teste automático. O primeiro módulo baseia-se na determinação da corrente mínima de operação e na tensão mínima de operação. Tal como nas funções anteriores, é utilizado o módulo *Ramping* que permite um incremento contínuo da saída analógica pretendida, corrente e depois tensão homopolar, desde valores iniciais não susceptíveis de actuação das respectivas funções até valores finais garantidamente superiores aos valores de arranque das funções. A função de Máximo de Intensidade Homopolar Direccional tem a particularidade de poder definir em que condições de direccionalidade deve actuar [7]. Para o efeito a Unidade de Protecção baseia-se no ângulo definido entre a corrente de defeito e a tensão de polarização [10].

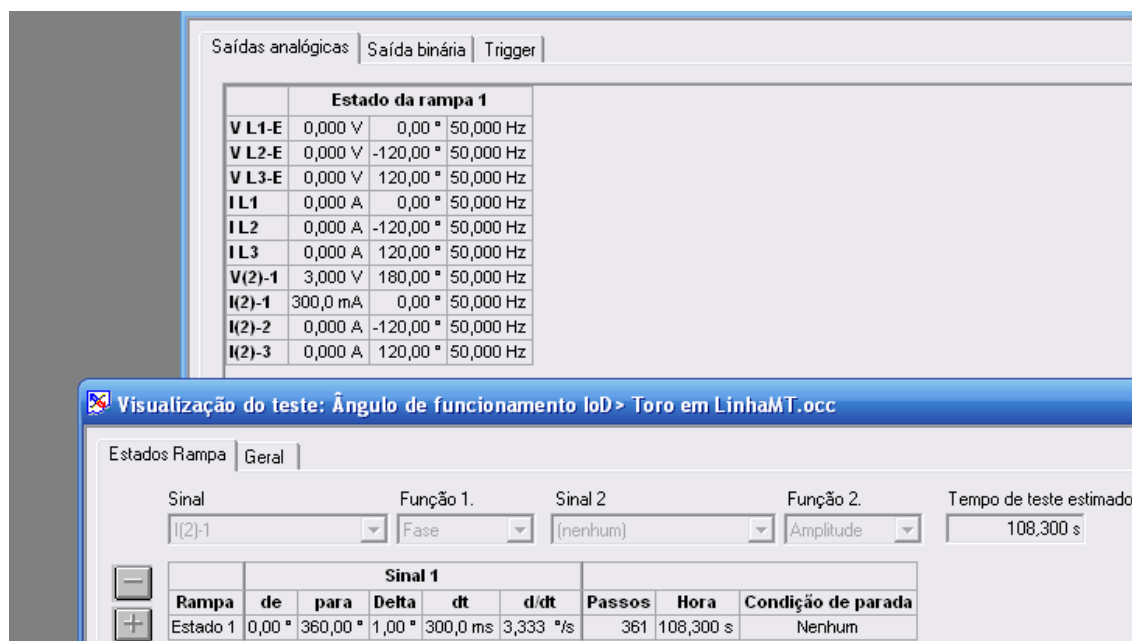
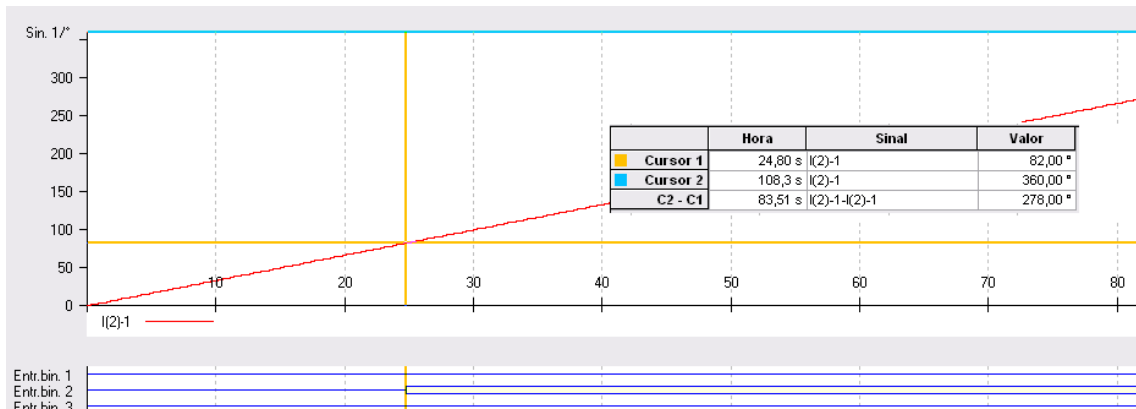


Figura 4.15 - Definição dos parâmetros da rampa de verificação de direccionalidade da função

Dadas as potencialidades do módulo de teste *Ramping*, foi desenvolvido especificamente para a função direccional um ensaio que permitisse avaliar e registar todas as zonas de actuação definidas para a função. Para tal o teste varre o esfasamento angular possível entre a corrente do toro e a tensão homopolar, transmitindo em tempo real e sob um gráfico, os dados das variáveis para cada instante testado. Tal informação permite definir todas as zonas de actuação da função de Máximo de Intensidade Homopolar Direccional.



**Figura 4.16** - Exemplo ilustrativo da actuação da função direccional em função do ângulo de defasamento entre corrente e tensão

Neste exemplo ilustrado na figura 4.16, podemos observar que a protecção actua quando se verifica um esfasamento da corrente do toro com a tensão entre 82° e 360°. Estes valores de esfasamento são automaticamente convertidos para uma tabela e reportados através dum relatório geral.

Os testes seguintes reflectem as alterações do estado funcional do disjuntor mediante a permanência do defeito. Tal situação foi já analisada ao pormenor anteriormente.

#### 4.2.6.3. Pesquisa de Terras Resistentes

A função de protecção de Pesquisa de Terras Resistentes consiste numa protecção de alta sensibilidade, destinada a eliminar os defeitos fase-terra de grande resistência [7]. A sua função de protecção baseia-se numa curva de funcionamento de tempo “muito inverso” conforme a expressão 4.1 e 4.2,

$$t_{op} = \frac{459,14 \times TM}{I^{0,655}} \rightarrow 0,5A \leq I < 5A, \quad (4.1)$$

$$t_{op} = \frac{800 \times TM}{I} \rightarrow 5A \leq I < 200A, \quad (4.2)$$

Dada a função de característica desta função, foram definidos vários pontos de actuação de forma a poder caracterizar a curva de actuação da função. Para tal foram definidos para cada ponto em estudo funções de teste do estilo “tempo de operação” já descrito previamente.

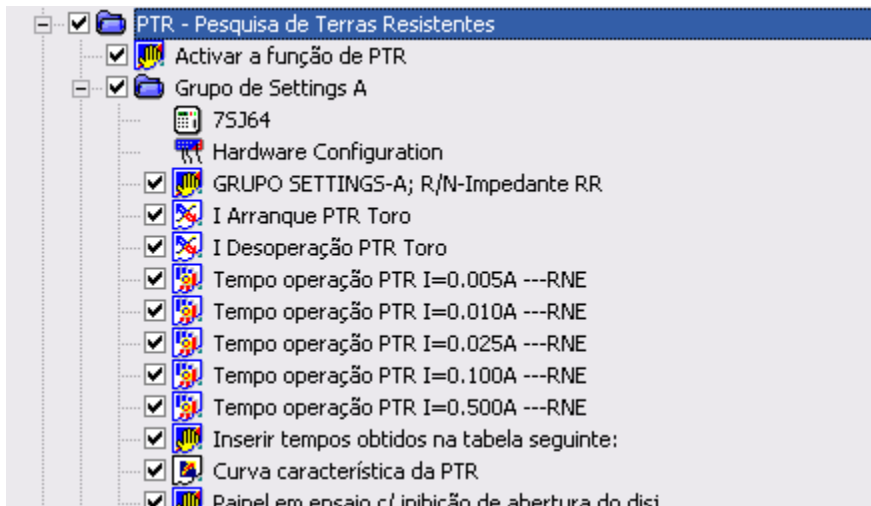


Figura 4.17 - Definição de alguns pontos de actuação solicitados pelo modelo de ensaio

Para cada um dos pontos definidos obtemos os tempos de actuação ensaiados. De forma a certificar que os tempos obtidos em ensaio correspondem aos tempos definidos pela equações (4.1 e 4.2), à que comparar os devidos valores de actuação com os da curva inversa. Tal processo foi desenvolvido no modelo de testes. Assim de uma forma automática é “chamado” um ficheiro “Excel” através da associação de uma função denominada *Execute*. Esta função executa um ficheiro “Excel” que tem já pré-definida uma função de parametrização da curva inversa associada à Pesquisa de Terras. De uma forma automática é aberta uma nova janela no ambiente de trabalho do operador, onde lhe é solicitado o registo dos valores de actuação determinados para os pontos definidos. Estes valores são exportados para um gráfico que ilustra as duas curvas de actuação, uma previamente definida e outra considerando os tempos de disparo inseridos pelo operador.

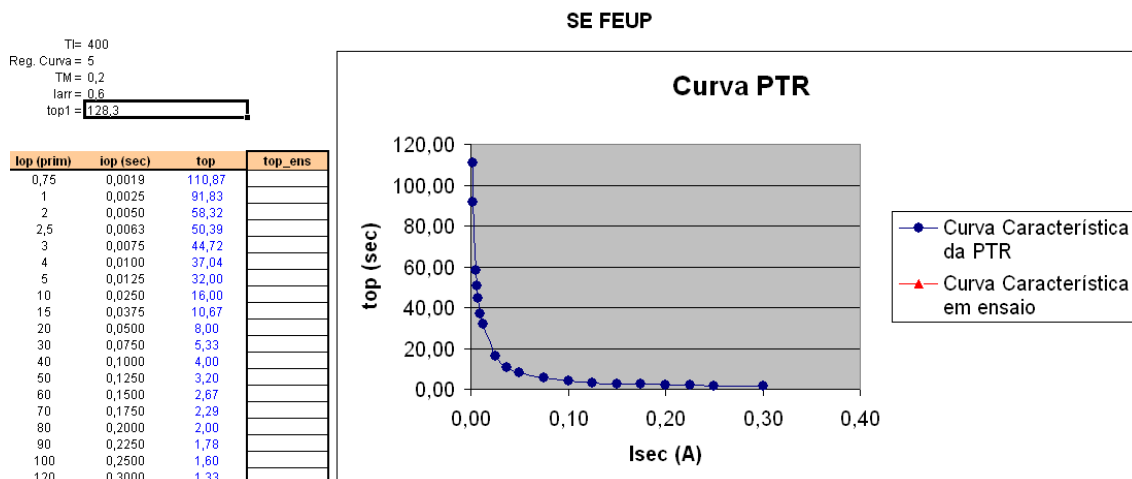


Figura 4.18 - Curva de PTR pré-definida e ilustração onde serão introduzidos os tempos de operação obtidos nos pontos estabelecidos no modelo de teste

#### 4.2.6.4. Condutor Partido

A função de “Condutor Partido” caracteriza-se pelo aparecimento de uma componente inversa no sistema. Com efeito o módulo de teste *Overcurrent* permite caracterizar de uma forma automática os pontos de disparo e define os critérios de avaliação pois estes são definidos com base nos tempos de actuação pré-definidos, inseridos na configuração do equipamento. Convém salientar que esta função não provoca o disparo do disjuntor. Com efeito nos testes da característica e da corrente mínima de operação a condição de paragem do defeito não poderá ser obtida através do disparo do disjuntor, sendo parametrizada pelo arranque da função geral. Segundo o protocolo de ensaios [11], a função de condutor partido não actua se em simultâneo actuar uma função de máxima intensidade.

Através do módulo *State Sequencer* foi criado um teste específico para o efeito. O estado dois é responsável por provocar um defeito de condutor partido e um de máxima intensidade, sem que actue a função associada ao primeiro.

#### 4.2.6.5. Automatismo de religação

A função de automatismo de religação rápida/lenta tem características de execução que tornam a sua automatização numa tarefa quase impossível! Mas tal adversidade pode ser contornada se recorreremos às potencialidades do módulo de ensaio *State Sequencer*. Porquê?

De facto, como já foi referido na abordagem individual aos módulos, a possibilidade de criar estados de teste independentes proporcionando uma transição repentina entre vários estados de funcionamento sempre com todas as variáveis de estado sob avaliação em termos de estado e tempo. Estas características permitem monitorizar todo o processo do ciclo de religação quer rápida quer lenta e simultaneamente avaliar de forma automática todas as condições de verificação. Todos os testes desenvolvidos no modelo de ensaio irão garantir os requisitos técnicos e normativos associados a [9] e [11].

Os ciclos de religação têm condições de arranque específicas para o tipo de defeito que o despoleta. Assim,

Tabela 4.3 - Esquema de actuação da função de religação

Função	Religação Rápida		Religação Lenta	
	Arranque (Tarr)	Disparo (Top)	Arranque (Tarr)	Disparo (Top)
I>				
I>>	X			X
Io>				
Io>>	X			X
Io>D	X			X
PTR – 1º Ciclo		X		X
PTR – 2º e 3º Ciclo			X	

A análise a esta tabela permite definir que:

- As funções de I>, I>>> e Io> não desencadeiam religação.
- A religação rápida é iniciada pelo arranque das funções de protecção de I>>, Io>> e Io>D e pelo disparo da PTR
- A religação lenta é iniciada pelo disparo das funções I>>, Io>>, Io>D. Caso de trate do primeiro ciclo também pela PTR, caso contrário a PTR despoletará a religação no arranque.

O modelo de testes criado para avaliar o correcto funcionamento de todo o automatismo de religação é constituído por uma serie de testes iniciais dedicados à confirmação destas premissas. Com efeito foi criada uma primeira sequência dedicada à religação rápida.

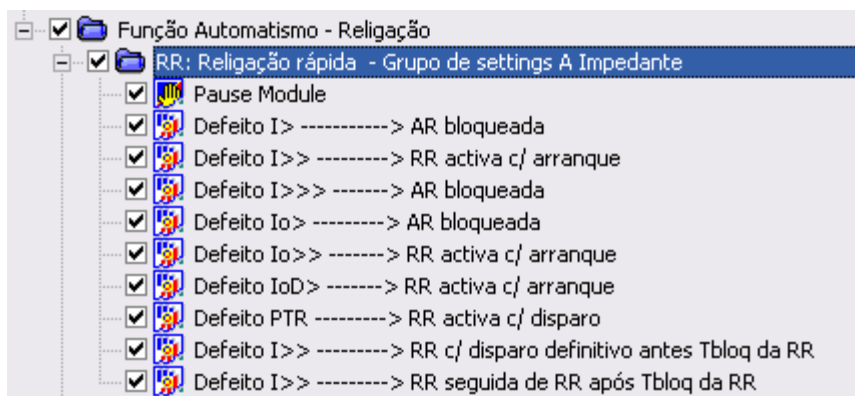


Figura 4.19 - Sequência de testes para confirmação da actuação da religação rápida por função de protecção

Cada um dos testes ilustrados é constituído por quatro (4) estados independentes. Um primeiro denominado de “carga” que simula o funcionamento do painel em regime normal. Um segundo que representa o aparecimento do defeito conforme a ilustração. O terceiro estado foi criado para temporizar o ciclo associado à manobra do disjuntor aquando da religação. Por último foi estabelecido novo estado de carga.

O princípio de funcionamento do teste baseia-se no seguinte, o primeiro estado de carga demora 6 segundos e volvido esse tempo o teste transita para o estado dois que irá provocar o defeito. Nos casos em que a religação esteja bloqueada<sup>2</sup> não se verifica a religação, nos restantes, imediatamente após o defeito dá-se a abertura do disjuntor e consequente transição para o terceiro estado. Aqui, é aguardada a ordem de religação para transitar para o ultimo estado.

<sup>2</sup> Religação bloqueada para I>, I>>> e Io>

A condição de permanência no primeiro estado é apenas temporal. A do segundo estado está dependente da variável de estado de disparo do disjuntor, ou seja, do seu valor lógico. Assim caso este tome o valor de um (1) é feita a transição para o terceiro estado. Este tem como condição o valor da variável associada à ordem de religação, ou seja, caso esta surja é feita a passagem para o ultimo estado que também tem uma condição de permanência apenas temporal.

Os critérios de avaliação baseiam-se numa primeira análise a verificar se efectivamente as funções I>, I>> e lo> não desencadeiam religação. Tal é verificado se durante o terceiro estado não existiu uma ordem de fecho ao disjuntor. Para a confirmação de religação por parte das funções I>>, lo>>, lo>D e PTR verifica-se se nesse estado surgiu a ordem de religação.

O segundo critério avalia se efectivamente as funções I>>, lo>> e lo>D despoletaram a religação no arranque da função. Tal situação é verificada se a abertura do disjuntor se procedeu antes do tempo de operação da função de protecção. Isto porque o arranque das funções é sempre instantâneo [10]. Para o caso particular da função de PTR é necessário confirmar que a abertura do disjuntor para religação se deu após o tempo de operação da função.

O teste denominado “Defeito I>>-----RR c/ disparo definitivo antes Tbloq da RR”, verifica se caso surja um novo defeito antes de se ter contabilizado o tempo de bloqueio para a religação rápida, não se verifica nova religação e é gerado um disparo definitivo.

O teste seguinte visa garantir que caso surja um novo defeito após a temporização de bloqueio da função de religação, dá-se o início a um novo ciclo de religação.

Os testes desenvolvidos para o ensaio da função de religação lenta foram desenvolvidos com base em dez (10) estado distintos. Tal procedimento foi necessário visto que o grupo de settings da subestação que permite o ensaio da religação lenta é dado pela parametrização do ciclo, Religação: rápida-lenta-lenta.

Os critérios de avaliação foram definidos da seguinte forma,

Avaliação	Avaliação do Nível									
	Carga	Defeito MIF I>>	Religação	Carga	Defeito MIF I>>	Religação	Carga	Defeito MIF I>>	Religação	Carga
Tolerância	0,000 s	1,100 s	1,000 s	0,000 s	1,100 s	1,000 s	0,000 s	1,100 s	1,000 s	0,000 s
Disp. Disjuntor	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Arr. MSOT	X	1	X	X	1	X	X	1	X	X
Disp. MIF	X	0	X	X	1	X	X	1	X	X
Disp. MIH	X	0	X	X	0	X	X	0	X	X
Disp. PTR	X	0	X	X	0	X	X	0	X	X
REE On	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OFM/O.Religação	X	X	1	X	X	1	X	X	1	X
Disj. Fechado	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
Disp. CHMT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dis. BMT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.20 - Critério de avaliação para o ciclo de religação RLL, para um defeito MIF

ou seja, no primeiro estado de defeito que desencadeia a religação rápida, não se deve verificar o disparo da função, apenas o arranque, no segundo e terceiro estados de defeito já se verifica o disparo da função pois a religação lenta a isso exige. Notar que durante os estados de religação se deve verificar a variação da variável relativa à ordem de fecho de zero (0) para 1 (um). Durante toda a sequência também se certifica que não existem disparos dos disjuntores de Chegada MT e Barras MT.

No caso do disparo de PTR, no estado do primeiro e segundo defeitos deve verificar-se o arranque e disparo da função, mas no terceiro estado de defeito a função de religação já deverá ser desencadeada apenas pelo arranque da função, pois trata-se do segundo ciclo de religação lenta.

Os testes seguintes pretendem verificar a correcta actuação da função de automatismo com a interacção de outro tipo de defeito que não aquele que deu origem ao ciclo de religação. Nesta situação temos a sequencia de testes seguinte,

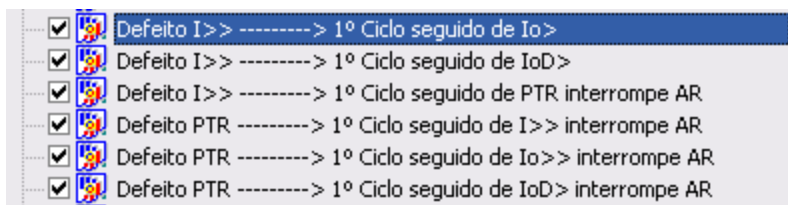


Figura 4.21 - Sequência de testes para certificar interacção de funções durante o ciclo de religação

Assim após um primeiro ciclo de religação despoletado pelas funções I>>, Io> e Io>D, caso se verifique no próximo ciclo um defeito de qualquer das mesmas funções deverá ser desencadeada nova religação. Caso o ciclo seguinte seja provocado por um defeito de PTR, já não haverá lugar a novo ciclo de religação [11].

Por outro lado os ciclos seguintes àqueles que foram desencadeados por uma função de PTR, só serão bem sucedidos caso se verifique um defeito do mesmo tipo [11].

Com base nestas considerações foi definido por cada teste um critério de avaliação que certifica o correcto funcionamento destas funções.

Por último foi criado um grupo de testes que permite garantir a interrupção do automatismo de religação com a aparecimento das seguintes situações,

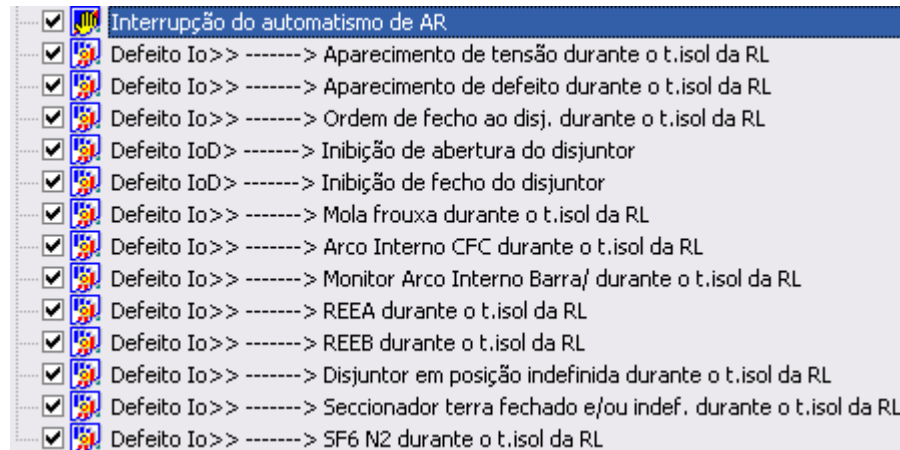


Figura 4.22 - Condições que implicam a interrupção da função de automatismo

Conforme ilustra a figura 4.22, o modelo desenvolvido contempla uma série de testes automáticos que visam certificar o correcto funcionamento do sistema em análise conforme todos os documentos técnicos e normativos [9] e [11] disponíveis.

Assim nas duas primeiras condições ilustradas foi criado um novo estado de teste imediatamente antes do estado de religação do ciclo lento. O primeiro caracterizado pelo aparecimento de uma tensão na linha e o segundo pelo aparecimento de um novo defeito. Ambas as situações provocam a interrupção do ciclo de religação.

Relativamente aos testes contíguos, foram criados pontos de interrupção nos estados seguintes ao que desencadeia a função de religação com a finalidade de definir a instrução de bloqueio ao operador. Este deverá proceder à criação das condições exigidas de forma a que depois o teste proceda à respectiva avaliação do ensaio.



# Capítulo 5

## CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 5.1. Conclusões

A realização deste projecto permitiu desenvolver um modelo de ensaio para os Sistemas de Protecção, Comando e Controlo das Subestações AT/MT da EDP Distribuição. Atendendo à actual estrutura do mecanismo de funcionamento do sistema e dado que existe uma uniformização das características e ensaios aplicáveis a todo o processo, o desenvolvimento de um processo automatizado de ensaio proporciona maiores garantias de rigor e eficiência.

Com efeito, o modelo de ensaio desenvolvido assenta numa estrutura baseada na criação de módulos de teste sujeitos a condições de execução, de funcionalidade e de validação conforme os requisitos técnicos e normativos específicos para Subestações de Distribuição. Associado a essas predefinições está a avaliação automática de cada teste, baseada em critérios previamente definidos quer em termos de tempos como em termos de variáveis de estado do sistema. Todas estas informações relativas ao processo de desenvolvimento e avaliação de cada teste são confluídas num relatório geral, gerado automaticamente e passível de ser consultado a qualquer momento.

Nesta perspectiva estamos perante um modelo de ensaio que permite ao operador passar de um papel activo e dinâmico, para outro baseado num plano de controlo e supervisão do processo.

Devido à natureza do seu desenvolvimento o actual projecto confere-lhe a possibilidade de ser utilizado no ensaio de qualquer subestação de distribuição, sendo ela equipada com Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED) baseados em arquitectura *SIEMENS*, *ABB*, *EFACEC* entre outras.

Posto isto, estou em condições de assegurar que o desenvolvimento deste modelo de ensaio automatizado constituído por testes pré-definidos para os ensaios a efectuar, capaz de garantir, certificar e validar a operacionalidade do sistema conforme as normas específicas e capaz de criar de forma automática um relatório de execução, representa o meu

desenvolvimento para uma inovação nos ensaios de comissionamento das Subestações AT/MT de Distribuição da EDP.

## 5.2. Trabalhos futuros

Com base no desenvolvimento deste modelo de testes e na experiência adquirida na realização dos ensaios, defino este como um ponto de partida para a criação de settings pré-definidos para ensaios de comissionamento de Sistemas de Protecção, Comando e Controlo Numérico de Subestações pois tal diligência permitiria uniformizar de uma forma mais consistente o actual modelo de testes criado.

A adequação dos protocolos de ensaio à nova realidade de execução dos ensaios de comissionamento julgo que seja a iniciativa mais urgente a tomar, dada a automatização de processos criada com esta aplicação.

Numa perspectiva mais ambiciosa, propunha o desenvolvimento de uma aplicação que relacionasse cada teste executado com o evento respectivo recebido para SCADA. Desta forma estaríamos perante uma aplicação a todos o níveis notável, não só ao nível de protecção comando e controlo, como também ao nível de comunicação.

## Referências

- [1] DMA-C13-501/N, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição, Sistemas de Protecção Comando e Controlo Numérico (SPCC), Características e Ensaios”, DNT - Direcção de Normalização e Tecnologia, EDP Distribuição, FEV 2007.
- [2] CMC 356, Reference Manual, OMICRON, Versão AE.1.
- [3] Siemens, Esquemas Funcionais - EDP.
- [4] DEF-C13-503/N, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição, Generalidades: Sistemas de Protecção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). *Interface Humano-Máquina, Especificação Funcional*”, DNT - Direcção de Normalização e Tecnologia, EDP Distribuição, FEV 2007.
- [5] Test Universe Protection Package - User Manual, OMICRON, Versão 2.2
- [6] Siemens, “Nota técnica - Normalização dos Painéis Tipo”, EDP, versão 1.0, 2008.
- [7] DEF-C13-570/N, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição, Sistemas de Protecção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Funções de Protecção, Especificação Funcional”, DNT - Direcção de Normalização e Tecnologia, EDP Distribuição, FEV 2007.
- [8] D00-C13-570/N, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição, Sistemas de Protecção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IED) - Entradas e saídas Externas, Generalidades”, DNT - Direcção de Normalização e Tecnologia, EDP Distribuição, FEV 2007.
- [9] DEF-C13-551/N, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição, Função de Automatismo: “relição rápida e/ou lenta de disjuntores”, Especificação funcional”, DNT - Direcção de Normalização e Tecnologia, EDP Distribuição, FEV 2007.
- [10] SIPROTEC, “Manual Multi-Functional Protective Replay with Local Control 7SJ62/64, versão 4.7.
- [11] Siemens, Protocolo de Ensaio Funcionais de Sistemas de Protecção, Comando e controlo (SPCC)
- [12] DEF-C13-501/N, “Instalações AT e MT. Subestações de Distribuição, Generalidades: condições específicas e modos de funcionamento, Especificação Funcional”, DNT - Direcção de Normalização e Tecnologia, EDP Distribuição, FEV 2007.

[13] SIPROTEC, “DIGSI Manager - *Software* de parametrização dos dispositivos electrónicos inteligentes (IED)”, versão 4.81.20.

[14] SIEMENS, “EDP SICAM PAS IEC61850 Protocol - Operação e Manutenção”

## Anexos

### RELATÓRIO DE TESTES

Em anexo foi colocado um excerto do relatório de ensaio que é gerado automaticamente pelo modelo de ensaio desenvolvido. Este relatório é constituído por todos os testes de ensaio desenvolvidos e inclui todas as parametrizações de settings para a execução dos mesmos. Os critérios de avaliação estipulados e as condições de validação também estão discriminadas individualmente.

Gostaria ainda de salientar que a inclusão do relatório neste formato de texto desconfigurou de sobremaneira as formatações do mesmo. A sua visualização pós exportação do *software* “Test Universe” apresenta um interface gráfico bem mais apelativo!



---

#### Equipamento em Teste - Ajustes do dispositivo

##### Subestação/Vão:

Subestação:	SE FEUP	Endereço da Subestação:	Rua Dr. Roberto Frias
Bay:	EEC0020	Endereço do Vão:	Projecto Final

##### Dispositivo:

Nome/descrição:	7SJ64	Fabricante:	SIEMENS, SA
-----------------	-------	-------------	-------------



**Entrada de usuário:**

**Estado do teste: Inativo**

## Entradas Digitais:

### Módulo de teste

Nome: OMICRON Annunciation Checker Versão: 2.22  
 Início do teste: Fim do Teste:  
 Nome do Usuário: Gerente:  
 Companhia:

### Resultados do teste

Degrau de Teste	LED	LED	UP	PCL
Parte móvel extraída		Não usado		
Parte móvel Introduz		Não usado		
Disjuntor desligado		Não usado		
Disjuntor ligado		Não usado		
Painel ensaio	1			
Superv. circ. fecho		Não usado		
Superv. circ. abert.		Não usado		
Secc. terra aberto		Não usado		
Secc. terra fechado		Não usado		
Arco Int. CCFC	7			
Molas Frouxas	6			
SF6 Nível 1 Alarme	9			
SF6 Nível 2 Disparo		Não usado		
REE On (superv.relé)		Não usado		Não usado
Falta Força Motriz		Não usado		
DTR Inst. TSA+RN BP		Não usado		Não usado
Reserva		Não usado	Não usado	Não usado
Reserva		Não usado	Não usado	Não usado
Reserva		Não usado	Não usado	Não usado





## Medidas Analógicas:

### Módulo de teste

Nome: OMICRON Annunciation Checker Versão: 2.22  
 Início do teste: Fim do Teste:  
 Nome do Usuário: Gerente:  
 Companhia:

### Resultados do teste

Degrau de Teste	LED	Unidade de Protecção	PCL	Unidade de Protecção
Fase L1		IL1	IL1	UL1-E
Fase L2		IL2	IL2	UL2-E
Fase L3		IL3	IL3	UL3-E
Sistema Directo		$I1 > 0$	$I1 > 0$	$U1 > 0$
Sistema Homop. Somat		$I_n = 3 \cdot I_{fase}$	$I_n = 3 \cdot I_{fase}$	$U_n = 3 \cdot I_{fase}$
Sistema Homopolar		$I_n$	$I_n$	$U_n$
Potência		Activa	Activa	Reactiva

Aval.: + .. Aprovado x .. Reprovado o .. Não avaliado

Degrau de Teste	LED	Posição 1
Fase L1		UL1-E
Fase L2		UL2-E
Fase L3		UL3LE
Sistema Directo		$U1 > 0$
Sistema Homop. Somat		$U_n = 3 \cdot I_{fase}$
Sistema Homopolar		$U_n$
Potência		Reactiva

Aval.: + .. Aprovado x .. Reprovado o .. Não avaliado

Pontos de Teste			
Total: 28	Aprovado: 0	Reprovado: 0	Não Testado: 28



**Verificação de Hardware**

Executado Por	Resultado	Detalhes
Ainda não executado		

**GRUPO SETTINGS-A; R/N-Impedante RR****Texto da instrução:**

Procedimento a seguir:

- Comutar a grupo de settings para A

**Entrada de usuário:****Característica L1-L2-L3:****Equipamento em teste - Parametros de Sobrecorrente****Proteção de sobrecorrente**

Tolerância de Tempo Abs.: 0,100 s Tolerância de Tempo Rel.: 10,00 %

Tolerância de Corrente Abs.: 0,10 In Tolerância de Corrente 5,00 %

Rel.:

Conexão TP: Em linha

Conexão ponto de neutro do TC: Em direção à linha

Direcional: Não

Relação de Reset: 0,95

Aplicar auto-reinicialização: Não

Limiar	Ativo	Corrente de Pickup	Hora	Característica
I>	Sim	1,000 In (1,000 A)	1,000 s	Tempo definido
I>>	Sim	4,000 In (4,000 A)	0,100 s	
I>>>	Sim	10,000 In (10,000 A)	0,050 s	

**Ajustes do Teste para Tipo de Falta L1-L2-L3**

### Modelo de Falta

Tempo de pré-falta:	0,000 s		
Tempo de pós-falta:	500,0 ms		
Max. tempo abs. de falta:	240,0 s	Max. tempo rel.de falta:	100,00 %
falta:			
Tensão de falta:	1,000 Vn		
Corrente de Carga:	0,000 In		
Ângulo:	-75,00 °		
Resete th. Habilitado:	Não		
Método de Reset Th.:	Manual		

### Teste de Pickup

Tipo de Teste:	Não executar o teste
Valor de Disparo:	n/a
Resolução:	100,0 ms
Avaliar:	Não

Relativo	I [A]	Direção	tnom	tmin	tmax	Max. Tempo de Falta
0,95 I>	0,95	n/a	N/R	900,0 ms	N/R	240,0 s
0,95 I>>	3,80	n/a	1,000 s	900,0 ms	1,100 s	2,200 s
0,95 I>>>	9,50	n/a	100,0 ms	0,000 s	200,0 ms	400,0 ms
1,05 I>	1,05	n/a	1,000 s	900,0 ms	N/R	240,0 s
1,05 I>>	4,20	n/a	100,0 ms	0,000 s	1,100 s	2,200 s
1,05 I>>>	10,50	n/a	50,00 ms	0,000 s	200,0 ms	400,0 ms

### Saídas binárias

Saída bin. 1:	0
Saída bin. 2:	0
Saída bin. 3:	0
Saída bin. 4:	0

### Condição de trigger

Lógica de Trigger: OU

Disp. Disjuntor: 1

Arr. MSQT: X

### Módulo de teste

Nome: OMICRON Overcurrent Versão: 2.22

Início do teste: Fim do Teste:

Nome do Usuário: Gerente:

Companhia:

### Resultados do Teste para Falta Tipo L1-L2-L3

Relativo	I [A]	Direção	t <sub>nom</sub>	t <sub>real</sub>	Desvio [%]	Estado	sobrecarga	Resultado
0,95 I>	0,95	n/a	N/R			Não testado		
0,95 I>>	3,80	n/a	1,000 s			Não testado		
0,95 I>>>	9,50	n/a	100,0 ms			Não testado		
1,05 I>	1,05	n/a	1,000 s			Não testado		
1,05 I>>	4,20	n/a	100,0 ms			Não testado		
1,05 I>>>	10,50	n/a	50,00 ms			Não testado		

### Resultados do Teste de Pickup

Status do Teste: Nenhum resultado disponível!

Valor de Pickup:

Valor de Dropout:

Relação de Reset:

Erro de relação

(Relativo):

Avaliação:

**Estado:**

0 de 6 Pontos testados. 0 Pontos aprovados. 0  
Pontos reprovados.

**Avaliação Geral: Nenhum resultado disponível!**