



Projeto n.º 47210

## A1 – Estudos e Investigação Base

### E1.1 – Relatório do estado da arte internacional de tecnologias, standards e requisitos de indústria

<b>Autor</b>	Nuno Rodrigues [Efacec], Rui Dias Jorge [Efacec], João Paulo Barraca [IT], Rui Luis Aguiar [IT], Diogo Nuno Gomes [IT], Óscar Pereira [IT], Mário Antunes [IT], Paulo Pedreiras [IT], Francisco Falcão [ARMIS], Fernando Gonçalves [INESC ID/IST], António Carrapatoso [INESC TEC], Clara Gouveia [INESC TEC], Everton Alves [INESC TEC]
<b>Nível de Divulgação</b>	Confidencial
<b>Data</b>	2021-07-12
<b>Revisão</b>	1.0
<b>Páginas</b>	110
<b>Palavras-Chave (<i>keywords</i>)</b>	Proteção e Controlo Centralizado, Virtualização em Tempo Real, Aplicações Avançadas SE AT/MT, Comunicações IEC 61850, Merging Unit, Cibersegurança

## Resumo do Projeto

O projeto SCALE perspetiva o desenvolvimento de uma plataforma para subestação de distribuição digital, que permita o controlo, monitorização e proteção de redes energéticas de média tensão de forma centralizada. Esta solução, projetando e desenvolvendo sistemas de proteção centralizados para subestações, desafia, não só, as arquiteturas de subestação digital atuais, baseadas em comunicações óticas, mas também outras temáticas basilares, como as infraestruturas e soluções cloud-based, big data e data privacy. A solução a desenvolver consistirá, assim, numa arquitetura inovadora e de alto valor acrescentado face aos atuais sistemas disponibilizados.

### Projeto SCALE é financiado por



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

## Documento

---

<b>Projeto</b>	SCALE	
<b>Nome do Projeto</b>	<i>Scalable Centralized Grid Protection, Automation and Control</i>	
<b>Número do Projeto</b>	47210	
<b>Título do Documento</b>	Relatório do estado da arte internacional de tecnologias, standards e requisitos de indústria	
<b>Revisão e Data</b>	1.0	2021-07-12
<b>Editor</b>	Nuno Rodrigues [Efacec]	
<b>Autores</b>	Nuno Rodrigues [Efacec], Rui Dias Jorge [Efacec], João Paulo Barraca [IT], Rui Luis Aguiar [IT], Diogo Nuno Gomes [IT], Óscar Pereira [IT], Mário Antunes [IT], Paulo Pedreiras [IT], Francisco Falcão [ARMIS], Fernando Gonçalves [INESC ID/IST], António Carrapatoso [INESC TEC], Clara Gouveia [INESC TEC], Everton Alves [INESC TEC]	
<b>Páginas</b>	110	

Copyright © Promotores do Projeto SCALE.

Todos os direitos reservados.

Este documento contém informações proprietárias dos Promotores do Projeto SCALE, legalmente protegidas por direitos do autor e de propriedade industrial e, como tal, este documento não pode ser copiado, fotocopiado, reproduzido, traduzido ou convertido para o formato eletrônico, na íntegra ou em parte, sem a autorização prévia por escrito dos proprietários. Nada neste documento deve ser interpretado como concessão de licença para fazer uso de qualquer software, informação ou produtos mencionados no documento.

## Revisões

---

Rev.	Data	Comentários	Autor
1.0	2021-07-12	Lançamento do documento	Nuno Rodrigues [Efacec], Rui Dias Jorge [Efacec], João Paulo Barraca [IT], Rui Luis Aguiar [IT], Diogo Nuno Gomes [IT], Óscar Pereira [IT], Mário Antunes [IT], Paulo Pedreiras [IT], Francisco Falcão [ARMIS], Fernando Gonçalves [INESC ID/IST], António Carrapatoso [INESC TEC], Clara Gouveia [INESC TEC], Everton Alves [INESC TEC]

---

# Sumário Executivo

O presente documento efetua um levantamento de tecnologias, standards e requisitos aplicáveis globalmente na indústria, estabelecendo formal e documentalmente o enquadramento do projeto SCALE. Desta forma, com o intuito de obter uma solução de Proteção e Controlo Centralizado, é efetuada uma caracterização das soluções atuais que permitem a função de *Merging Unit* / Unidades de Interface ao Processo e são explorados os seguintes domínios tecnológicos:

- Virtualização em tempo real;
- Aplicações avançadas;
- Módulo de comunicações (comunicações e sincronismo).

A temática da cibersegurança é também abordada nas suas várias dimensões.

## Glossário

AC	<i>Alternating Current</i>
A/D	<i>Analogue / Digital</i>
AT	Alta tensão
BT	Baixa Tensão
CPC	<i>Centralized protection and control</i>
CPU	<i>Central Process Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DER	<i>Distributed energy resources</i>
DSAS	Sistemas de automação de subestação digital
E/S	Entrada / Saída
FPGA	<i>Field Programmable Gate Array</i>
GOOSE	<i>Generic Object-Oriented Substation Event</i>
HMI	<i>Human machine interface</i>
HVDC	<i>High Voltage Direct Current</i>
HSR	<i>High-availability Seamless Redundancy</i>
ICT	<i>Information and Communications technology</i>
I/O	<i>Input / Output</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IDS	Sistema de deteção de intrusão
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Devices</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MT	Média tensão
MU	Merging Unit
OCR	Órgão de Corte de Rede
P&C	Proteção e controlo
PMU	<i>Phasor Measurement Unit</i>
PRP	<i>Parallel Redundancy Protocol</i>
PT	Posto de Transformação
PTP	<i>Precision Time Protocol</i>
RSTP	<i>Rapid Spanning Tree Protocol</i>

SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SAS	Sistemas de Automação de Subestações
SO	Sistema Operativo
SV	<i>Sampled Value</i>
TI	Transformador de corrente
TT	Transformador de tensão
VM	<i>Virtual Machine</i>

# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVO .....	13
1.2 ESTRUTURA DO DOCUMENTO .....	14
<b>2. ARQUITETURA IEC 61850 PARA A SUBESTAÇÃO AT/MT.....</b>	<b>16</b>
2.1 ARQUITETURA DA SUBESTAÇÃO AT/MT .....	16
2.2 EXTENSÃO DA NORMA À REDE MT E RECURSOS DER .....	19
2.3 ESTADO DE ARTE DA PROTEÇÃO E CONTROLO CENTRALIZADO .....	21
<b>3. TECNOLOGIAS PARA PRODUTO CPC.....</b>	<b>25</b>
3.1 VIRTUALIZAÇÃO EM TEMPO REAL.....	25
3.2 COMUNICAÇÕES E SINCRONISMO .....	28
3.2.1 COMUNICAÇÕES TEMPO-REAL.....	28
3.2.2 INTRODUÇÃO AOS PROTOCOLOS DE ÉTHERNET REDUNDANTES .....	37
3.2.3 CLASSIFICAÇÃO DA REDUNDÂNCIA .....	39
3.2.4 PROTOCOLO DE REDUNDÂNCIA PARALELA (PRP) .....	40
3.2.5 HIGH-AVAILABILITY SEAMLESS REDUNDANCY (HSR) .....	45
3.2.6 PROPRIEDADES COMUNS AOS PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO REDUNDANTES.....	49
3.2.7 COMPARAÇÃO DOS PROTOCOLOS PRP, HSR, RSTP E MRP.....	49
3.2.8 PRECISION TIME PROTOCOL (PTP) .....	50
3.2.9 ESTADO DA ARTE .....	54
3.3 CIBERSEGURANÇA .....	63
<b>4. PRODUTO <i>MERGING UNIT</i> E UNIDADE DE INTERFACE AO PROCESSO.....</b>	<b>69</b>
4.1 ESTADO DE ARTE .....	69
4.1.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS .....	71
4.1.2 IO DIGITAL E ANALÓGICO.....	73
4.1.3 COMUNICAÇÕES E SINCRONISMO .....	74
4.1.4 FUNCIONALIDADES ADICIONAIS .....	76
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DOS AUTOMATISMOS DA SE AT/MT E FUNÇÕES <i>SELF-HEALING</i> .....</b>	<b>78</b>
5.1 FUNÇÕES DE AUTOMATISMO EM USO PELA E-REDES .....	78
5.2 DESAFIOS FUTUROS PARA A OPERAÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO: ADEQUAÇÃO DOS AUTOMATISMOS DA SE AT/MT .....	79
5.2.1 COORDENAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO E AUTOMATISMOS DE RELIGAÇÃO AUTOMÁTICA EM LINHAS DE MT COM PRODUÇÃO E CARGA .....	85
5.3 APLICAÇÕES AVANÇADAS NA SUBESTAÇÃO AT/MT .....	88
5.3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE DETEÇÃO, ISOLAMENTO E REPOSIÇÃO AUTOMÁTICA DE SERVIÇO – <i>SELF-HEALING</i> .....	89
5.3.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS SOLUÇÕES <i>SELF-HEALING</i> .....	89
5.3.3 PROTEÇÕES ADAPTATIVAS .....	100
5.3.4 ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS E ESTADOS ANÓMALOS.....	101
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>104</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>105</b>