



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCOS HORÁCIO BORGES BRESSAN

METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS INTEROPERÁVEIS
EM REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES BASEADA EM
USE CASES, SGAM, CIM E FIPA

FORTALEZA

2020

MARCOS HORÁCIO BORGES BRESSAN

**METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS INTEROPERÁVEIS
EM REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES BASEADA EM
USE CASES, SGAM, CIM E FIPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Furtado
Sampaio

Coorientador: Profa. Ph.D. Ruth Pastôra
Saraiva Leão

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B851m Bressan, Marcos Horácio Borges.
Metodologia para Desenvolvimento de Sistemas Interoperáveis em Redes Elétricas Inteligentes baseada em Use Cases, SGAM, CIM E FIPA / Marcos Horácio Borges Bressan. – 2020.
263 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio.
Coorientação: Profa. Dra. Ruth Pastôra Saraiva Leão.
1. redes elétricas inteligentes. 2. CIM. 3. SGAM. 4. interoperabilidade. 5. Use Case. I. Título.
CDD 621.3
-

MARCOS HORÁCIO BORGES BRESSAN

**METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS INTEROPERÁVEIS
EM REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES BASEADA EM
USE CASES, SGAM, CIM E FIPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Lucas Silveira Melo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Guilherme Pinheiro Barnabé
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marcos e Rinaurea, a quem devo minha eterna gratidão pelo carinho, amor e atenção que me deram mesmo diante de todo o sacrifício e dificuldades passadas.

Aos meus familiares, meus amigos próximos e minha companheira, que sempre me foram ombros que me fizeram chegar mais alto, exemplos vivos para minhas inspirações, fontes inesgotáveis de minha autoconfiança e vozes atentas para meus tropeços.

Aos meus professores e orientadores, Prof. Raimundo Sampaio e Profa. Ruth Leão, que me receberam de braços abertos ao apresentar minhas ambições, dedicaram-me sua preciosa atenção ao longo do desenvolvimento deste trabalho e compartilharam comigo porções generosas de seu vasto conhecimento.

Aos meus amigos e colegas do Grupo de Redes Elétricas Inteligentes da Universidade Federal do Ceará, Dario Macedo, Felipe Sampaio, Andresa Sombra, Arnold Almeida, Miguel Casemiro e Elifrânio, pelas conversas, intercâmbios de ideias, ajuda e companheirismo.

Aos demais membros e colaboradores do GREI, que com dedicação e trabalho foram responsáveis por contribuições acadêmicas valiosas ao histórico e ao atual nível de excelência da equipe.

“Ideias e somente ideias poderão
iluminar a escuridão.”

– Ludwig von Mises

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico tem sido marcado pela ascensão de inúmeros dispositivos que tomam cada vez mais a frente na automação de funções relacionadas à supervisão, controle, proteção, aquisição de dados e gestão de sistemas de potência. Neste contexto de sistemas complexos, resultantes da convergência entre sistemas de domínios diversos, emerge o conceito de *Smart Grid*, ou Rede Elétrica Inteligente (REI). A integração de novas tecnologias e tecnologias legadas impõe, entretanto, uma série de desafios, como: a necessidade de um diálogo transparente entre partes interessadas de setores variados (fabricantes, entidades reguladoras, clientes, dentre outros); a identificação adequada de normas e padrões disponíveis; e a construção de sistemas inteligentes, escaláveis, interoperáveis e seguros. Este trabalho apresenta uma metodologia para o Ciclo de Vida de Desenvolvimento de Sistemas para Redes Elétricas Inteligentes, orientada a integração e interoperabilidade e baseada em padrões internacionais como *Use Cases* segundo a série IEC 62559, SGAM (*Smart Grid Architecture Model*), CIM (*Common Information Model*), FIPA (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) e testes de conformidade e interoperabilidade segundo recomendações do *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). A metodologia *Use Cases* da série IEC 62559 é uma técnica orientada a documento que formaliza os requisitos das partes interessadas; SGAM, desenvolvido por CEN/CENELEC/ETSI, permite a visualização de *Use Cases* e a especificação da arquitetura de sistema de maneira interoperável; CIM, padrão IEC 61970/61968/62325, modela mensagens e objetos para a troca interoperável de informações entre atores; e as especificações FIPA para sistemas multiagentes possibilitam uma solução para a implementação de sistemas inteligentes. Como caso de estudo, a metodologia é aplicada a um Sistema Multiagente de Recomposição Automática, destinado a subestações distribuidoras e sistemas de distribuição de média tensão e desenvolvido junto ao Grupo de Redes Elétricas Inteligentes (GREI) da Universidade Federal do Ceará. A aplicação da nova metodologia provou-se importante para a identificação de novos requisitos de sistema, desencadeando em sugestões de alterações menores no projeto original para maior aderência aos padrões internacionais de interoperabilidade em redes elétricas inteligentes.

Palavras-chave: redes elétricas inteligentes, CIM, SGAM, interoperabilidade, *Use Case*

ABSTRACT

Technological development has been marked by the rise of numerous devices that are increasingly taking the lead in automation of functions related to supervision, control, protection, data acquisition and power system management. In this context of complex systems, resulting from the convergence of systems from several domains, the concept of Smart Grid emerges. The integration of new technologies with legacy ones, however, imposes a series of challenges, such as: the need for a clear dialogue between stakeholders from different areas of interest (manufacturers, regulators, costumers and others); the proper identification of available standards and specifications; and the development of intelligent, scalable, interoperable and secure systems. This work addresses a methodology for the System Development Life Cycle within the Smart Grid framework, integration- and interoperability-oriented and based on international standards such as IEC 62559 Use Cases Methodology, Smart Grid Architecture Model (SGAM), Common Information Model (CIM), FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) specifications, and conformance and interoperability tests according to ETSI (European Telecommunications Standards Institute) recommendations. The use case methodology from IEC 62559 series is a document-oriented technique that formalizes stakeholders' requirements; SGAM, developed by CEN/CENELEC/ETSI, enables the visualization of Use Cases and the specification of system architecture in an interoperable way; CIM, from IEC 61970/61968/62325 standards, models messages and information objects for interoperable information exchange; and FIPA-based multi-agent systems enable an implementation solution for intelligent systems. As a case study, the methodology is applied to a FLISR¹ Multi-Agent System, intended for distribution substations and medium voltage distribution systems and developed within the Smart Grid Group (GREI) of the Federal University of Ceará. The application of the new methodology proved to be important for the identification of new system requirements, triggering suggestions for minor changes in the original project in order to improve adherence to international standards for smart grids interoperability.

Keywords: smart grids, CIM, SGAM, interoperability, use case

¹ Fault Location, Isolation and Service Restoration

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro de formalidade entre linguagens de diferentes níveis	35
Figura 2 – Classes de IEDs.....	37
Figura 3 – Aplicação das classes de IEDs no SDMT	38
Figura 4 – Emprego dos agentes e dos módulos de SMA em função da topologia da SED e do SDMT	40
Figura 5 – FIPA-ACL como padrão de comunicação interoperável	42
Figura 6 – Exemplo de diagrama UML com atores, <i>Use Cases</i> e um subsistema	44
Figura 7 – Organização de UCs por nível de detalhe	47
Figura 8 – Composição da série de normas IEC 62559: <i>The Use Case methodology</i>	50
Figura 9 – Visão geral dos tópicos do modelo de <i>Use Case</i> da IEC 62559-2.....	52
Figura 10 – <i>Smart Grid Architecture Model</i>	54
Figura 11 – <i>SGAM Smart Grid Plane</i>	55
Figura 12 – Mapeamento de <i>Use Cases</i> no modelo SGAM.....	58
Figura 13 – Mapa de modelos de dados na Camada de Informação do SGAM.....	61
Figura 14 – Mapa de redes de comunicação na Camada de Comunicação do SGAM	62
Figura 15 – Processo de criação de perfis de modelos de informação.	69
Figura 16 – Diagrama de classe <i>SwitchingEquipment</i> do pacote <i>IEC61970/Base/Wires</i>	71
Figura 17 – Exemplo de extensão de duas classes do CIM.....	74
Figura 18 – Processo completo de criação de um perfil CIM	74
Figura 19 – Exemplo de documento XML	76
Figura 20 – Exemplo de serialização em XML de um Modelo de Informação e um Objeto de Informação.....	77
Figura 21 – Declaração de um novo recurso	78
Figura 22 – Declaração de novos tipos de objetos e propriedades.....	79
Figura 23 – Exemplo de modelo de informação derivado do CIM	80
Figura 24 – Trecho do documento CIM RDF XML gerado para a representação do modelo de informação da Figura 23.....	80
Figura 25 – Trecho de objeto de informação gerado para o modelo da Figura 24.....	81
Figura 26 – Mapa simplificado dos documentos e modelos relacionados a um perfil CIM em RDF	81
Figura 27 – Diagrama de sequência do protocolo de interação <i>FIPA Request</i>	85

Figura 28 – Diagrama de sequência do protocolo de interação <i>FIPA Subscribe</i>	86
Figura 29 – Diagrama de sequência do protocolo de interação <i>FIPA Contract Net</i>	87
Figura 30 – Exemplo de um projeto <i>Enterprise Architect</i>	91
Figura 31 – Janela do CIM EA para seleção de classes e atributos necessários a um perfil CIM	94
Figura 32 – Janela de ferramentas do <i>SGAM Toolbox</i>	95
Figura 33 – Visão geral das etapas da metodologia e os documentos resultantes.....	98
Figura 34 – Detalhes dos documentos resultantes de cada etapa	99
Figura 35 – Visão geral dos <i>Use Cases</i> do SMRA.....	105
Figura 36 – Diagrama UML de <i>Use Cases</i> do SMRA	106
Figura 37 – Diagrama de informações trocadas e respectivos modelos de informação.....	108
Figura 38 – Camada de Função do SMRA.....	109
Figura 39 – Camada de Negócios.....	110
Figura 40 – Mapeamento de atores de sistema a componentes	112
Figura 41 – Localização das instalações na Camada de Componentes	114
Figura 42 – Fluxos de informação entre atores na Camada de Informação	115
Figura 43 – Mapeamento dos objetos de informação em modelos canônicos	116
Figura 44 – Mapeamento dos modelos canônicos na Camada de Informação.....	118
Figura 45 – Camada de Comunicação.....	121
Figura 46 – Exemplo de diagrama para <i>design</i> de componentes	122
Figura 47 – Tipos de dados comuns aos perfis.....	124
Figura 48 – Modelo de informação <i>outage</i>	125
Figura 49 – Modelo de informação <i>switchingplan</i>	126
Figura 50 – Modelo de informação <i>negotiation</i>	127
Figura 51 – Exemplo de cenário com setor defeituoso isolado	127
Figura 52 – Modelo de informação <i>proposal</i>	128
Figura 53 – Modelo de informação <i>faultreport</i>	129
Figura 54 – Modelo de informação <i>restorationreport</i>	130
Figura 55 – Diagrama de classes do modelo de informação IED Dataset	132
Figura 56 – Diagrama de classes do modelo de informação IED Command	132
Figura 57 – Diagrama de caixa-branca dos componentes	133
Figura 58 – Exemplo de objeto de informação inserido na árvore XML da mensagem ACL	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de agentes e seus ambientes.....	33
Tabela 2 – Lista de agentes e responsabilidades em (SAMPAIO, 2017b).....	39
Tabela 3 – Lista de agentes e responsabilidades em (SAMPAIO, 2017a)	40
Tabela 4 – Componentes comuns a UCs	45
Tabela 5 – Tipos de Use Cases.....	46
Tabela 6 – Vantagens e razões para a adoção de <i>Use Cases</i>	48
Tabela 7 – Aplicabilidade das tecnologias de comunicação às redes de REIs.....	65
Tabela 8 – Quadro comparativo entre artefatos CIM XSD e CIM RDFS.....	82
Tabela 9 – Lista de especificações FIPA.....	83
Tabela 10 – Parâmetros de mensagens FIPA ACL	84
Tabela 11 – Ferramentas de <i>software</i> indicadas para o desenvolvimento de sistemas REI.....	96
Tabela 12 – Análise de Negócios do SMRA.....	104
Tabela 13 – Modelo de informação IED Dataset	131

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAA	Autenticação, Autorização e Auditoria
AAL	<i>Active Assisted Living</i>
ACL	<i>Agent Communication Language</i>
BUC	<i>Business Use Case</i>
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i>
CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Électrotechnique</i>
CVDS	Ciclo de Vida de Desenvolvimento de Sistemas
CIM	<i>Common Information Model</i>
DMS	<i>Distribution Management System</i>
DNP3	<i>Distributed Network Protocol 3</i>
EMS	<i>Energy Management System</i>
ENTSO-E	<i>European Network of Transmission System Operators for Electricity</i>
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i>
GD	Geração Distribuída
GOOSE	<i>Generic Object-Oriented Substation Events</i>
HLUC	<i>High-Level Use Case</i>
HRM	<i>Harmonised Electricity Market Role Model</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Device</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IOP	Interoperabilidade
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>

IP(v4)	<i>Internet Protocol (versão 4)</i>
IPv6	<i>Internet Protocol versão 6</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MMS	<i>Manufacturing Message Specification</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PADE	<i>Python Agent Development Framework</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
POA	Programação Orientada a Agente
PUC	<i>Primary Use Case</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
RDFS	<i>RDF Schema</i>
RED	Recursos Energéticos Distribuídos
REI	Rede Elétrica Inteligente
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RNP	Representação Nó-Profundidade
RPC	<i>Remote Procedure Call</i>
SAS	Sistema de Automação de Subestação Distribuidora
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SDMT	Sistema de Distribuição de Média Tensão
SED	Subestação Distribuidora
SG	<i>Smart Grid</i>
SG-CG	<i>Smart Grid Coordination Group</i>
SGAM	<i>Smart Grid Architecture Model</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SIPS	<i>System Integrity Protection Scheme</i>
SMAD	Sistema Multiagente de Automação da Distribuição
SMDF	Sistema Multiagente de Diagnóstico de Falta
SMDIF	Sistema Multiagente de Diagnóstico, Localização e Isolação de Falta
SMRA	Sistema Multiagente de Recomposição Automática
SOAP	<i>Simple Object Access Protocol</i>
SUC	<i>System Use Case</i>
TC	Transformador de Corrente
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TP	Transformador de Potencial
UC	<i>Use Case</i>
UML	<i>Universal Modeling Language</i>
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
VPP	<i>Virtual Power Plant</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
XSD	<i>XML Schema Definition</i>

SUMÁRIO

1	Introdução	20
1.1	Visão Geral do Problema.....	20
1.2	Justificativa	22
1.3	Objetivos.....	22
1.3.1	Objetivo Geral	22
1.3.2	Objetivos Específicos	23
1.4	Estrutura deste Trabalho	23
2	Referencial Teórico	25
2.1	Introdução	25
2.2	Redes Elétricas Inteligentes	25
2.3	<i>Smart Grid Coordination Group</i>	27
2.4	Arquitetura e Modelo de Referência.....	28
2.5	Interoperabilidade	30
2.6	Sistemas Multiagentes	32
2.6.1	Agentes	32
2.6.2	Características Gerais de Sistemas Multiagentes	34
2.6.3	Ontologia	34
2.7	Sistema Multiagente de Automação da Distribuição.....	36
2.7.1	SMDF, SMDIF e SMRA	38
2.8	Considerações Finais	42
3	Técnicas e Normas Aplicadas à Interoperabilidade de Redes Elétricas Inteligentes.....	43
3.1	Introdução	43
3.2	<i>Use Cases</i>	43
3.2.1	Use Cases e UML	44
3.2.2	Principais Componentes	45

3.2.3	Classificação.....	46
3.2.4	Aplicações e Benefícios de Use Cases	47
3.3	Metodologia <i>Use Cases</i> da IEC.....	48
3.3.1	O Modelo de Use Cases Padrão IEC 62559-2	51
3.3.2	Indicações para o Desenvolvimento de Use Cases	52
3.4	<i>Smart Grid Architecture Model</i>	53
3.4.1	Domínios e Zonas do SGAM	55
3.4.2	Camadas de Interoperabilidade do SGAM.....	57
3.4.3	Mapeamento de Use Cases no SGAM	58
3.5	<i>Profiling</i>	66
3.5.1	Metodologia para a Definição de Perfis	67
3.5.2	Criação de Perfis	67
3.6	<i>Common Information Model</i>	69
3.6.1	CIM Profiling	72
3.6.2	Extensões.....	73
3.6.3	Serialização de Perfis e Objetos CIM.....	75
3.7	FIPA	82
3.7.1	Mensagens ACL	83
3.7.2	Protocolos de Interação	84
3.8	Testes	87
3.8.1	Teste de Conformidade	88
3.8.2	Teste de Interoperabilidade	88
3.8.3	Testes para IEC 61850	89
3.9	Considerações Finais	90
4	Ferramentas para a Aplicação das Técnicas Apresentadas	91
4.1	Introdução	91

4.2	Ferramentas.....	91
4.2.1	Enterprise Architect.....	91
4.2.2	Módulos Python	95
4.3	Considerações Finais	96
5	Metodologia para o Ciclo de Desenvolvimento de Sistemas REI	97
5.1	Introdução.....	97
5.2	Escopo do Sistema.....	99
5.3	Modificações Propostas ao SMAD.....	100
5.3.1	Supressão do Agente de Diagnóstico de Falta	100
5.3.2	Tratamento de SMRA, SMDIF e SMDF como um módulo único	101
5.3.3	Formalização dos Objetos de Informação	101
5.3.4	Revisão dos Comportamentos dos Agentes	101
5.4	Análise de Sistema.....	103
5.4.1	Análise por meio de Use Cases	103
5.4.2	Camada de Função	109
5.4.3	Camada de Negócios	110
5.5	Especificação de Sistema.....	110
5.5.1	Camada de Componentes	111
5.5.2	Camada de Informação.....	114
5.5.3	Camada de Comunicação	119
5.5.4	Design de Componentes.....	121
5.5.5	Identificação de Demais Requisitos Não Funcionais.....	122
5.6	Detalhamento de Perfis.....	123
5.6.1	Perfis CIM	123
5.6.2	Perfis IEC 61850	130
5.7	<i>Design</i> de Componentes e Interfaces.....	133

5.8	Implementação.....	134
5.8.1	Detalhes de Implementação para Sistemas Multiagentes.....	134
5.8.2	Plataforma de Agentes.....	135
5.8.3	Serialização dos Objetos de Informação CIM.....	135
5.8.4	Tratamento dos Objetos de Informação CIM.....	137
5.8.5	Representação e Simulação da Rede Elétrica.....	137
5.8.6	Biblioteca para Comunicação Padrão IEC 61850	138
5.9	Teste	138
5.10	Considerações Finais	138
6	Conclusão e Trabalhos Futuros.....	140
6.1	Aportes do Trabalho	142
6.1.1	Apresentação e Aplicação do Conceito de Perfil	142
6.1.2	Forma de Apresentação de Projetos de Sistemas REI.....	142
6.1.3	Formalização dos Objetos de Informação CIM	142
6.2	Trabalhos Futuros	143
6.2.1	Detalhes na Descrição dos Use Cases	143
6.2.2	Detalhes na Especificação de Perfis.....	144
6.2.3	Inclusão de Detalhes de Fase de Testes para Sistemas Multiagentes... 144	
6.2.4	Abordagem dos Demais Use Cases do SMAD	144
6.2.5	Soluções para Comunicação com IEDs de Outras Tecnologias.....	145
	Referências Bibliográficas.....	146
	ANEXO A - Descrição Detalhada dos Tópicos do Modelo Use Cases da Norma IEC 62559-2.	152
	ANEXO B - Modelo Harmonizado de Atores do Mercado de Eletricidade (HRM)	162
	ANEXO C - Grupos de Funções em Redes Elétricas.....	163
	ANEXO D - Plano de Componentes de Redes Elétricas.....	164
	ANEXO E - Lista de Esquemas XML e RDF	165

ANEXO F - Use Cases para o Sistema Multiagente de Recomposição Automática	199
---	-----

1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão Geral do Problema

Nas últimas décadas, o avanço do desenvolvimento tecnológico em diversos setores da indústria e do mercado tem sido observado em larga escala. Graças à evolução e expansão do uso de dispositivos de TIC (Tecnologia de Informação e Comunicação) e de eletrônica de potência, a rede elétrica tem sido munida cada vez mais com novas funcionalidades capazes de prover maior confiabilidade, flexibilidade, qualidade, segurança, eficiência e melhor penetração de fontes de energia limpa (CSANYI, 2012). Esse novo cenário de mudança proporcionou o surgimento de uma rede elétrica moderna, automatizada e inteligente denominada *Smart Grid*, ou Rede Elétrica Inteligente (REI).

O conceito de REI é amplo, e conforme Teixeira Martins *et al.* (2019) uma REI compreende um conjunto de novas tecnologias e recursos que vem sendo incorporado às redes elétricas. Uma série de atividades em progresso estão intimamente relacionadas ao domínio de REIs, dentre as quais: medidores inteligentes (DESCANT, 2018; MCGOVERN, 2018), veículos elétricos (CRE, [s.d.]; ENERGYSAVE, 2019), domótica (KMC CONTROLS, 2013), integração de renováveis (KMC CONTROLS, 2013), prossumidores (GRUPO RENOVATIO, 2019), geração distribuída e microrrede (CNE, [s.d.]).

Diferentemente de uma rede elétrica convencional, uma REI conta com o apoio de inteligência computacional e de um conjunto de redes de comunicação para desenvolver uma rede elétrica sustentável, robusta, eficiente, flexível e resiliente (TEIXEIRA MARTINS; OLESKOVICZ; DA SILVA PESSOA, 2019), que propicia uma visão e comportamento mais descentralizados em termos de produção e consumo de energia (BRETT, 2017). De forma distinta ao paradigma das redes elétricas convencionais, em que a energia flui de forma quase previsível e despachável dos grandes centros de produção até os consumidores, a inserção de prossumidores, de Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) e de novos tipos de perfis de consumo, como frotas de veículos elétricos, aumenta a variabilidade do fluxo de energia ao longo da rede elétrica (CRE, [s.d.]; HENRIOT; GLACHANT, 2014; RIAZ *et al.*, 2019). Ao mesmo tempo, são abertas também possibilidades para novos modelos de negócios, como sistemas de créditos relativos à energia excedente produzida e injetada na rede elétrica por prossumidores (GRUPO RENOVATIO, 2019).

Na perspectiva mercadológica e tecnológica a médio prazo, as atividades em progresso nos permitem concluir que, ao longo do tempo, espera-se a entrada de um número cada vez maior de dispositivos conectados e integrados à rede elétrica, associados a uma quantidade considerável de novos atores, cada um com características e interesses próprios. Ao passo em que crescem exponencialmente em número, aumenta-se a necessidade de que decisões sejam tomadas não mais por entidades centralizadas, mas a nível local, de forma a lidar eficientemente com a sobrecarga de serviços e com os interesses potencialmente conflitantes de partes interessadas (DAUN, 2007). A convergência e integração de diversos domínios fazem emergir cenários em que a resolução de tais conflitos devem ser negociada por meio de sistemas inteligentes, capazes de lidar com o número massivo de cenários que se multiplica com a chegada de novos atores.

Na perspectiva econômica, o desenvolvimento de infraestruturas modernas muito provavelmente deve tomar lugar junto a um processo gradual de transformação de tecnologias e arquiteturas legadas, uma vez que os custos de refazer toda a infraestrutura poderiam se tornar impraticáveis. Tais mudanças não se limitam às arquiteturas físicas de sistemas ou aos componentes técnicos, mas também são promovidas em modelos de negócios e nos papéis exercidos pelos atores. Devido à importância econômica e às dimensões dessas mudanças, falhas no processo e no planejamento estratégico poderiam ser fortemente alavancadas, com resultados potenciais de alto custo (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a).

A operação eficiente de uma rede elétrica passa então a requerer uma rede de comunicação que permita uma transmissão segura e confiável de dados entre os diversos dispositivos situados tanto ao longo da rede quanto nas unidades consumidoras (TEIXEIRA MARTINS; OLESKOVICZ; DA SILVA PESSOA, 2019). Neste contexto, surge o conceito de *interoperabilidade*, definida como a capacidade de um sistema de trocar informação com outros sistemas, existentes ou futuros, sem restrições de acesso ou de implementação (AFULL, 2015).

À medida que mais e mais dispositivos TIC são integrados à infraestrutura elétrica, mais a interoperabilidade se torna um requisito fundamental para que a rede se mantenha robusta, confiável, segura e escalável. Em REIs, a interoperabilidade de sistemas é alcançada principalmente através do uso de metodologias que assegurem a realização de especificações detalhadas dos sistemas, uso de normas e padrões e aplicação de rotinas de teste (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a).

1.2 Justificativa

A implantação das REIs faz surgir diversos desafios, que caracterizam a necessidade de soluções de desenvolvimento de sistemas capazes de fazer frente aos problemas introduzidos. Tais soluções devem:

- Permitir a concepção de sistemas escaláveis, capazes de acomodar um número cada vez maior de dispositivos TIC conectados à infraestrutura elétrica e de se integrarem continuamente a outros sistemas de forma interoperável, buscando manter a integridade da rede e a segurança de usuários;
- Facilitar a identificação e o emprego de normas e padrões disponíveis, priorizando aqueles de alto grau de interoperabilidade e aceitação industrial, de forma a permitir a integração desejada entre sistemas;
- Suportar uma ampla variedade de cenários de aplicação, correspondentes a requisitos funcionais e não funcionais das mais distintas categorias;
- Fornecer linguagens e meios de comunicação comuns que favoreçam a troca de informação entre diferentes partes interessadas, dialogando também com a indústria, reguladores, clientes e outros domínios fora das REIs;
- Possibilitar a análise e avaliação de potenciais implementações candidatas, além da conformidade destas implementações às normas e padrões identificados;
- Considerar o suporte à transição de sistemas legado em direção a sistemas *smart*;
- Abordar o desenvolvimento de sistemas distribuídos e dotados de inteligência.

Uma possível abordagem ao problema de inteligência distribuída aplicada em sistemas de potência é tratada por autores como Sampaio, R. (2017b), Sampaio, F. (2017a), Barbosa (2017) e Melo *et al.* (2019). Em seus trabalhos, eles exploram sistemas multiagentes como solução à implementação de sistemas distribuídos em redes elétricas de distribuição.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia padronizada para projeto e desenvolvimento de sistemas para Redes Elétricas Inteligentes, com aplicação em automação de sistemas elétricos de distribuição baseada em sistemas multiagentes. Para isso, buscar-se-á

a aplicação de normas e padrões que tratam de processos incorporáveis ao ciclo de vida de desenvolvimento de sistemas, passando pelas fases de análise de requisitos, definição e especificação da arquitetura do sistema, implementação e teste.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

Dentre os objetivos específicos deste trabalho, estão:

- Utilizar a metodologia *Use Cases* da IEC 62558-2 na modelagem estrutural e comportamental de sistemas e para identificação de requisitos;
- Aplicar o *Smart Grid Architecture Model* (SGAM) para mapeamento de funcionalidades, definição da arquitetura do sistema e identificação de normas, padrões e especificações;
- Empregar o *Common Information Model* (CIM) para a especificação e a modelagem dos objetos de informação trocados entre as partes do sistema;
- Adotar sistemas multiagentes como uma abordagem para problemas de inteligência descentralizada e distribuída aplicada a Redes Elétricas Inteligentes;
- Usar um Sistema Multiagente para Recomposição Automática como prova de conceito de sistemas descentralizados interoperáveis no domínio de REIs, aplicando as técnicas e as ferramentas apresentadas nos tópicos anteriores.

1.4 Estrutura deste Trabalho

No Capítulo 2 são apresentados conceitos, estudos e trabalhos publicados, assim como o escopo deste trabalho, a fim de formalizar os termos necessários à compreensão da metodologia.

O Capítulo 3 traz as técnicas, normas e padrões que compõem a metodologia geral do trabalho, além de apontar aspectos a serem considerados ao longo do ciclo de vida de desenvolvimento de sistemas REI interoperáveis.

Já o Capítulo 4 apresenta algumas das ferramentas de *software* para o desenvolvimento e implementação de projetos em Redes Elétricas Inteligentes, compreendendo o gerenciamento e a documentação dos sistemas, a modelagem de componentes e as algumas das bibliotecas em linguagem *Python* indicadas para a implementação do Sistema Multiagente de Recomposição Automática.

A metodologia é então detalhada passo a passo no Capítulo 5, abordando documentos que devem ser produzidos ao término de cada etapa que servem tanto como documentação do projeto de um sistema quanto como informação de entrada para etapas subsequentes. A metodologia é também aplicada ao módulo de recomposição automática de um sistema multiagente de automação de distribuição.

Por fim, o Capítulo 6 trata da conclusão e de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Introdução

Este capítulo é dedicado à identificação de estudos e trabalhos realizados, assim como à abordagem de conceitos introdutórios, de forma a apresentar o escopo de ação desta obra e permitir a formalização de alguns dos termos tratados ulteriormente, em especial, os conceitos de Rede Elétrica Inteligente (REI), Interoperabilidade (IOP) e Sistema Multiagente (SMA). Na última seção, é apresentado o Sistema Multiagente para Automação de Distribuição (SMAD), desenvolvido por Sampaio (2017b), sobre o qual a metodologia desenvolvida neste trabalho é posteriormente aplicada.

2.2 Redes Elétricas Inteligentes

Uma Rede Elétrica Inteligente (REI) corresponde à evolução das redes elétricas convencionais no que tange a suas habilidades de comunicação entre dispositivos e à aplicação de inteligência computacional como meio para a realização de suas funções. Como resultado, o sistema de potência adquire maior robustez, eficiência, flexibilidade e capacidade de lidar com novos perfis de geração e consumo de energia (TEIXEIRA MARTINS; OLESKOVICZ; DA SILVA PESSOA, 2019). A Comissão de Regulação de Energia (CRE, [s.d.]) francesa identifica uma série de atividades em progresso relacionadas ao domínio de REIs, dentre as quais estão:

- *Medidores Inteligentes*: medidores modernos que proporcionam leituras e registros de medições do consumo de unidades consumidoras em escalas de tempo menores, além dispor de comunicação em tempo real com a concessionária de energia para envio de notificações, como em caso de manipulação ou roubo de energia ou mesmo em caso de interrupção inadvertida no fornecimento (MCGOVERN, 2018). Em alguns casos, podem tornar possível a implementação de Tarifação Dinâmica e mecanismos de Resposta à Demanda (DESCANT, 2018).
- *Veículos elétricos*: a fonte da energia que impulsiona a frota de automóveis no mundo vem sofrendo uma transição do uso de motores a combustão interna em direção ao uso de motores elétricos (ENERGYSAVE, 2019). A integração e o impacto dos terminais de recarga na rede têm se mostrado objeto de diversos

estudos, processos de padronização e políticas de regulamentação (CRE, [s.d.]).

- *Domótica, Smart Home, Smart Building e Automação Residencial* referem-se a uma série de funcionalidades para automação de edifícios residenciais, comerciais e industriais com o propósito de fornecer aos seus ocupantes maior conforto, operação eficiente dos sistemas do edifício, redução de consumo de energia, dentre outros benefícios (KMC CONTROLS, 2013).
- *Integração de Renováveis*: mercados de energia convencionais não são concebidos tendo em vista o caráter intermitente de fontes de energia renováveis. A integração de renováveis faz emergir questões importantes como a remuneração adequada da flexibilidade de usinas convencionais despacháveis, a necessidade de lidar com unidades de tempo mais próximas ao instantâneo, a redefinição de mecanismos de tarifação em termos de capacidade de produção e de produção útil e o controle descentralizado com destaque ao papel de operadores do sistema de distribuição (HENRIOT; GLACHANT, 2014).
- *Prossumidores*: a penetração e massificação de dispositivos TIC permitiram o barateamento da geração de energia em pequena escala. Este fato possibilitou que um consumidor pudesse gerar parte da energia elétrica que consome e mesmo injetar seus excedentes na rede de distribuição, podendo resgatar parte da energia injetada nos momentos em que sua geração não é suficiente para a totalidade do seu consumo (GRUPO RENOVATIO, 2019).
- *Microrredes*: também chamadas *mini* ou *micro Smart grids*, as microrredes constituem pequenas redes elétricas que agregam múltiplas instalações de produção local e difusa, de consumo e de armazenamento, além de equipamentos e ferramentas para monitoramento e controle da rede. Microrredes podem operar conectadas a uma rede de distribuição ou em modo ilhado (CNE, [s.d.]).

O Brasil tem se beneficiado enormemente com a expansão do mercado de geração distribuída baseado em micro e minigeração com fontes de energia solar (ÉPOCA NEGÓCIOS, 2020; EXAME, 2020). A implementação de Medidores Inteligentes já é alvo de experimentos

no Sudeste do país desde 2011 (HERZOG, 2013). Sem embargo, a integração de fontes de energia limpa e de renováveis tem resultado em fortes impactos na confiabilidade das redes elétricas em função da natureza volátil e intermitente destas novas tecnologias (HENRIOT; GLACHANT, 2014) e da falta de adequação do modelo regulatório para lidar com um mercado emergente (FONTES, 2020).

2.3 *Smart Grid Coordination Group*

Como resposta ao Mandato de Normalização M/490 da Comissão Europeia o *Smart Grid Coordination Group* (SG-CG), composto pelas organizações de normalização CEN (*Comité Européen de Normalisation*), CENELEC (*Comité Européen de Normalisation Électrotechnique*) e ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), torna-se responsável pela tarefa de estabelecer uma estrutura que promova o desenvolvimento e a inovação de padrões no domínio de REIs. Desta forma, demais organizações de normalização europeias podem dar prosseguimento à evolução das atuais tecnologias de computação e comunicação ao mesmo tempo em que se evita a aparição de inconsistências entre elas (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014b). De uma maneira geral, é esperado que a base de desenvolvimento das REIs seja capaz de:

- Integrar uma grande variedade de atores e partes interessadas no domínio de REIs, assim como possibilitar uma comunicação confiável entre eles;
- Prover detalhes o suficiente para garantir a interoperabilidade entre sistemas de Redes Elétricas Inteligentes;
- Oferecer flexibilidade para permitir a emergência de novas tecnologias ao passo que se apoia nas infraestruturas de comunicação já existentes;
- Acomodar uma variedade de abordagens que mercados e indústrias de diferentes contextos podem ter ao curso do desenvolvimento de sistemas REI.

No campo da normalização, a existência de diversas organizações de padronização aumenta o risco de que diversos dos seus trabalhos apresentem especificações técnicas inconsistentes, prejudicando a interoperabilidade entre sistemas. Assim, o mandato M/490 tem como objetivo responder às atuais necessidades técnicas e organizacionais de segurança da informação e proteção e privacidade de dados em REIs, promovendo a construção de um sistema de informação e comunicação inerentemente seguro e interoperável, desde a geração até o consumidor final (EC DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY, 2011).

Entendendo o potencial impacto que as ações de organizações de normalização europeias possuem e reconhecendo o seu pioneirismo em lidar com indústrias e mercados heterogêneos como aqueles encontrados no continente europeu, a metodologia desenvolvida neste trabalho tem como alicerce a estrutura de REI desenvolvida pelo SG-CG, com referências aos seguintes documentos:

- *First Set of Standards* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012a) e *Smart Grid Set of Standards* (SG-CG, 2014);
- *Methodologies to facilitate Smart Grid system interoperability through standardization, system design and testing* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a);
- *Overview of Smart Grid Coordination Group Methodologies* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014c);
- *Overview of the main concepts of Flexibility Management* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014d);
- *SGAM User Manual – Applying, testing & refining the Smart Grid Architecture Model* (SGAM) (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014e);
- *Smart Grid Information Security* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012b);
- *Smart Grid Reference Architecture* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014b);
- *Sustainable Processes* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012c).

2.4 Arquitetura e Modelo de Referência

Um dos resultados concretos publicados pelo SG-CG é o desenvolvimento de uma infraestrutura abstrata para REIs denominada *Smart Grid Architecture Model* (SGAM). O SGAM se baseia em arquiteturas já existentes e mescla diferentes perspectivas e abordagens na construção de um modelo comum, dando uma visão holística dos diferentes aspectos que integram o ecossistema das REIs. Dentro do SGAM, os pontos de vista são representados por três eixos: domínios, zonas e camadas de interoperabilidade (GOTTSCALK; USLAR; DELFS, 2017). Maiores detalhes sobre o SGAM são abordados na seção 3.4.

Outro modelo para a arquitetura de redes elétricas inteligentes bem conhecido é aquele desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST), instituto normativo braço do Departamento de Comércio dos Estados Unidos, cuja arquitetura é tratada no relatório interno *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0*

(2014). Paralelamente, outras organizações também iniciaram esforços com o objetivo de estabelecer arquiteturas modelo para REIs no contexto em que atuam. Dentre elas, estão (NIST, 2014, p. 45):

- *Chinese Electrical Power Research Institute* (CEPRI);
- *Korea Smart Grid Association* (KSGA);
- Governo Federal do Japão;
- *International Electrotechnical Commission* (IEC).

Trabalhos de autores como Uslar *et al.* (2014) identificam a falta de alinhamento entre diferentes modelos de arquiteturas. Em seu artigo *Security by Design for the Smart Grid: Combining the SGAM and NISTIR 7628*, os autores, reconhecendo as particularidades dos modelos europeu e americano, buscam harmonizar ambas as arquiteturas de referência ao mapear as categorias de interfaces lógicas do NISTIR 7628² no SGAM.

A escolha do SGAM como base para o presente trabalho decorre em razão do sucesso do modelo em lidar com contextos e mercados heterogêneos, estabelecendo um padrão que permite múltiplas abordagens e que facilita a análise de diferentes implementações. Isso não impede, entretanto, a evolução destas diretrizes em direção a uma harmonização com outras arquiteturas, tendo em vista o objetivo maior de elevar o grau de interoperabilidade entre sistemas.

Ainda sob o mandato M/490, a *Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE* (DKE), comissão de normalização alemã membra de organizações como CENELEC, ETSI e IEC, foi a responsável por apresentar pela primeira vez uma metodologia *Use Cases* para o estabelecimento de processos de normalização. Ao longo das fases do mandato, e após experiências com a aplicação em projetos europeus como FP7 e H2020³ e projetos nacionais, a metodologia *Use Cases* da IEC 62559 e o SGAM mostraram-se

² Relatório *NIST Internal Report 7628: Guidelines for Smart Grid Cybersecurity* disponível em <https://csrc.nist.gov/publications/detail/nistir/7628/rev-1/final> .

³ Sítios eletrônicos dos programas europeus disponíveis em:

- *7th Framework Programme* (FP7): https://ec.europa.eu/research/fp7/index_en.cfm ;
- *Horizon 2020* (H2020): <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en> .

promissores para processos de engenharia de requisitos e de especificação de arquitetura tanto em REIs quanto domínios correlatos (GOTTSCALK; USLAR; DELFS, 2017, p. 7).

Dentro deste trabalho, a opção pela adoção de *Use Cases* no processo de análise de requisitos tem como princípio a harmonização já prevista entre os relatórios e a arquitetura de referência do *Smart Grid Coordination Group* com a metodologia *Use Case* trazida pela série IEC 62559.

2.5 Interoperabilidade

De acordo com a Associação Francófona de Usuários de *Softwares* Livres (2015), **interoperabilidade** é definida como:

[...] a capacidade de um produto ou sistema, cujas interfaces são inteiramente conhecidas, de funcionar com outros produtos ou sistemas existentes ou futuros, sem restrição de acesso ou de implementação. (AFULL, 2015).

A norma IEEE 610 (1990, p. 42) define o termo interoperabilidade dando ênfase à capacidade destes produtos ou sistemas (o que inclui naturalmente redes, aplicativos, componentes e dispositivos de um mesmo ou de diferentes fabricantes) de trocar informação entre si e conseqüentemente utilizá-la para executar as funções para os quais foram designados. Ademais, a mesma norma fornece dois verbetes semelhantes à palavra **compatibilidade** na IEEE 610 (1990):

(1) capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes em executar suas funções enquanto compartilham o mesmo ambiente físico ou virtual. (2) capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes em trocar informação. (IEEE, 1990, p. 18).

Dois sistemas (ou componentes) podem ser compatíveis, mas executar funções completamente diferentes de forma separada. O primeiro dos dois verbetes acima não torna obrigatória nem mesmo a existência de comunicação entre esses dois sistemas. Por comparação, o SG-CG (2014a) define **intercambialidade** como:

[..] a capacidade de dois ou mais dispositivos ou componentes de serem intercambiados sem fazer mudanças a outros dispositivos ou componentes no mesmo sistema e sem degradação no desempenho do sistema. Os dois dispositivos não se comunicam entre si, basta que um possa ser substituído pelo outro. (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a, p. 12).

A discussão acerca da interoperabilidade deriva da necessidade crescente por uma rede elétrica robusta, confiável e segura, ainda mais necessária dadas as tendências de integração de

um número cada vez maior de novos dispositivos TIC. Logo, a compatibilidade de sistemas é necessária, porém não suficiente para alcançar esses objetivos.

Além disso, a não ser que seja por requisito técnico ou regulatório, a interoperabilidade não deve necessariamente implicar em intercambialidade, pois ao passo que é desejável que sistemas evoluam e aperfeiçoem ao longo do tempo, a intercambialidade pode ser comprometida neste processo.

O mero uso de normas internacionais não implica em uma infraestrutura interoperável por si só (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a); um conjunto de metodologias se torna, pois, necessário à implementação prática do conceito de interoperabilidade. Conforme o SG-CG (2014a, seq. 6), a forma de se alcançar interoperabilidade entre sistemas em REIs deve incluir:

- Uma metodologia para especificação e *design* detalhados do sistema, de maneira a harmonizar as suas diversas partes e facilitar a reutilização de componentes e a transmissão de conhecimento entre as diversas partes interessadas;
- Adoção de normas e padrões internacionais amplamente aceitos e consolidados por fabricantes e usuários;
- Mecanismos para a realização de testes, a fim de validar o bom comportamento do sistema e sua conformidade com as especificações adotadas.

Uma importante ferramenta para identificar e especificar aspectos de interoperabilidade em REIs é a metodologia *Use Cases*. Tal metodologia, melhor explorada na seção 3.2, fornece uma base para a especificação de requisitos funcionais e não funcionais, casos de testes e perfis de teste, tornando-se um ponto de partida para a entrega de sistemas de maneira eficaz e eficiente (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a).

No que concerne a adoção de padrões, o projetista deve especificar o conjunto de normas a serem utilizadas, com atenção especial aos detalhes de quais aspectos destas normas devem ser adotados para a realização dos *Use Cases*. A esta especificação é dado o nome de *profile*, ou perfil (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a, p. 6). A criação de um perfil é um passo importante para o estabelecimento da interoperabilidade na medida em que reduz o número de opções alternativas e a complexidade de se adotarem normas inteiras em um projeto, além de evitar inconsistências devido à seleção de opções incompatíveis dentro de uma mesma norma. A seção 3.5 traz detalhes a respeito das noções de perfis, de sua importância e de como criá-los.

Para testar a interoperabilidade do sistema, dois tipos de testes podem ser realizados: testes de conformidade e testes de interoperabilidade. Os testes de conformidade dizem respeito à conformidade do sistema em relação às normas e perfis selecionados. Testes de interoperabilidade são realizados com o sistema já conectado a outros sistemas da REI e têm o objetivo de verificar se suas funcionalidades estão sendo executadas corretamente nas interfaces com sistemas vizinhos. Estes conceitos são brevemente introduzidos na seção 3.8.

2.6 Sistemas Multiagentes

Conforme discutido na seção introdutória, as tendências tecnológicas atuais sugerem uma mudança constante rumo ao desenvolvimento de sistemas progressivamente mais numerosos e distribuídos. A forma de fazer com que estes sistemas consigam se comunicar de maneira interoperável tem sido o objeto de estudo e padronização de diversas organizações. Além disso, o número e complexidade das tarefas delegadas a computadores têm crescido enormemente, tornando cada vez mais necessário que eles tenham que lidar com situações ainda desconhecidas de forma inteligente e autônoma (WOOLDRIDGE, 2009, cap. 1).

A Programação Orientada a Agente (POA) surge como um paradigma na Engenharia de *Software* para explorar o potencial trazido com a integração destes sistemas. Um agente, diferentemente de um objeto, possui comportamento autônomo, dotado de objetivos, percepções, crenças, intenções e ações próprias. Esta abordagem permite a exploração de uma forma de computação movida a interesses, em que as ações de cada indivíduo são direcionadas à maximização da própria satisfação. Não obstante, para que consigam alcançar seus objetivos, os agentes devem negociar localmente e cooperar voluntariamente, de forma análoga ao funcionamento de uma economia. Esta perspectiva econômica permite uma melhor alocação global de recursos, dando margem à resolução de problemas complexos através de computação distribuída e cooperativa (WOOLDRIDGE, 2009).

2.6.1 Agentes

Um agente é visto como qualquer entidade que percebe seu ambiente por meio de sensores e age sobre ele por meio de atuadores. Para que seja considerado um agente racional, entretanto, requer-se que cada ação por ele tomada seja aquela que maximiza alguma medida de desempenho, dados o seu histórico de percepções (entradas dos sensores) e sua base de conhecimento (RUSSEL; NORVIG, 2012). A definição de um agente inteligente requer,

portanto, a especificação de quatro componentes: ambiente, sensores, atuadores e medida de desempenho. Alguns exemplos são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplos de agentes e seus ambientes

Tipo de Agente	Ambiente	Sensores	Atuadores	Medida de Desempenho
Motorista de táxi	Estradas, pedestres, clientes.	Câmeras, sonar, GPS, velocímetro, hodômetro, teclado.	Volante, acelerador, pedal de freio, faróis, buzina, tela do usuário.	Conforto, rapidez, segurança da viagem, maximização do lucro.
Controlador de refinaria	Refinaria, operadores.	Temperatura, pressão, sensores químicos.	Válvulas, bombas, aquecedores, tela.	Pureza, produção, segurança.
Analizador de imagens por satélites	Recepção de dados de satélite.	Conjuntos de pixels com cores.	<i>Display</i> que mostra a categoria da imagem.	Categorização correta da imagem.

Fonte: Adaptado de (RUSSEL; NORVIG, 2012, fig. 2.4-2.5)

Agentes podem ser classificados em quatro tipos principais, que aumentam gradativamente em nível de complexidade e inteligência (RUSSEL; NORVIG, 2012):

- **Agentes Reflexivos Simples:** agem segundo regras previamente estabelecidas, tomando como entrada somente a sua última percepção, captada pelos sensores. Têm inspiração nos reflexos humanos, que não requerem inteligência sofisticada ou complexa para agirem;
- **Agentes Reflexivos baseados em Modelo:** estes agentes incorporam as características de agentes reflexivos simples, porém mantêm um estado interno (modelo) do ambiente, construído a partir do conhecimento de como ele deve evoluir em função das ações dos agentes ou independentemente destes;
- **Agentes baseados em Objetivos:** além da descrição do modelo do ambiente, estes agentes detêm uma informação do objetivo que representa a situação desejável a ser alcançada. A seleção de sequências de ações é então realizada com base nos estados internos e nos objetivos do agente;
- **Agentes baseados em Utilidade:** empregam funções de utilidade como medidas internas de desempenho, de modo a atingir aos seus objetivos maximizando estes indicadores.

Arquiteturas de sistemas multiagentes podem conter um ou mais dos tipos de agentes citados. Ainda que sejam compostas estritamente de agentes reflexivos, arquiteturas como a de

Brooks (1991a, 1991b) atacam o problema da inteligência por meio do conceito de emergência, em que pequenas interações entre agentes e destes com o ambiente, em conjunto, apresentam um comportamento inteligente “aos olhos do observador”. Limitações desta abordagem são discutidas por Wooldridge (2009, p. 92).

2.6.2 *Características Gerais de Sistemas Multiagentes*

Além das características individuais, Wooldridge e Jennings (1995) ressaltam algumas das características gerais de agentes inteligentes:

- *Autonomia*: operam sem a intervenção humana direta, controlando suas próprias ações e estado interno;
- *Capacidade social*: são capazes de interagir com outros agentes para satisfazer seus próprios objetivos, por meio de alguma linguagem de comunicação;
- *Reatividade*: percebem o seu ambiente e respondem às mudanças de acordo com seus objetivos;
- *Proatividade*: comportam-se e tomam ações deliberadas, direcionadas ao cumprimento de seus objetivos.

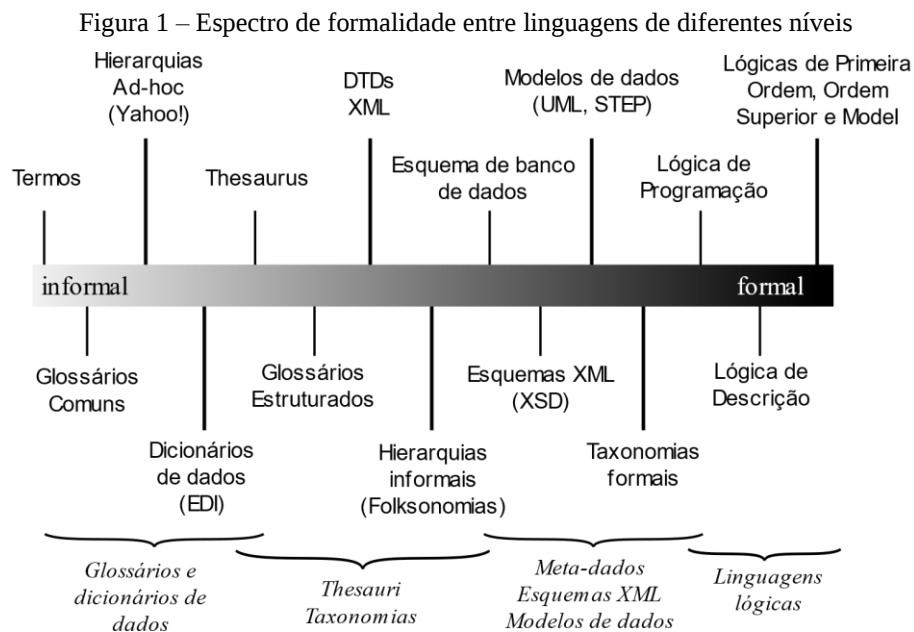
Junto à proposta da POA, Shoham (1993) em seu trabalho apresenta a concepção de uma primeira linguagem para representação de estados mentais análogos a de humanos, como crenças, desejos e intenções. Para que sejam capazes de se comunicar, agentes devem ser capazes de compreender uns aos outros através de uma linguagem de comunicação comum, transmitindo informações definidas a partir de um “vocabulário” comum, denominado *ontologia*.

2.6.3 *Ontologia*

Ontologias no contexto de Ciência da Computação são conceitos utilizados para a modelagem formal da estrutura de um sistema, seus objetos, entidades e relações. A construção de uma ontologia consiste basicamente numa hierarquização (especialização e generalização) de conceitos relevantes, constituindo uma taxonomia (WOOLDRIDGE, 2009). Por meio desta hierarquia, a ontologia permite a definição formal de um domínio de conhecimento.

A expressão de uma ontologia se dá através da formalização de um conjunto de regras e/ou fórmulas por meio de uma linguagem dotada de um vocabulário. Diferentes linguagens

apresentam diferentes graus de formalidade, como mostrado na Figura 1. Quanto maior o nível de formalidade, menos ambígua e mais adequada uma linguagem se torna para a descrição de uma ontologia. Todavia, linguagens mais expressivas tendem a perder em eficiência por exigirem um tratamento computacionalmente mais complexo (GUARINO; OBERLE; STAAB, 2009).



Fonte: (GUARINO; OBERLE; STAAB, 2009)

O *Common Information Model* (CIM), tratado na seção 3.6, representa uma ontologia que modela o conjunto de entidades pertencentes ao domínio de sistemas de potência e domínios correlatos. Perfis do CIM também representam ontologias aplicadas a contextos específicos de conversação. Quando um agente, utilizando-se de uma linguagem, se comunica com outro, ele assume que o segundo é capaz de interpretar a linguagem utilizada (XML⁴ no caso do CIM) e os símbolos empregados (definidos com a ajuda de um vocabulário e um conjunto de regras em XSD⁵ ou RDF⁶). Para haver êxito na comunicação, ambos os agentes precisam então apresentar interoperabilidade sintática (a nível de linguagem) e semântica (a nível de ontologia).

⁴ eXtensible Markup Language.

⁵ XML Schema Definition.

⁶ Resource Description Framework.

2.7 Sistema Multiagente de Automação da Distribuição

Sampaio (2017b) introduz em sua tese uma abordagem para automação de Sistemas de Distribuição em Média Tensão (SDMT) e de Subestações Distribuidoras (SED) pautada no paradigma de Programação Orientada a Agente (POA). Ao identificar os principais módulos que compõem a estrutura de gerenciamento de SDMTs, Sampaio (2017b) propõe uma metodologia para projetos de Sistemas Multiagentes (SMA) no domínio de REIs, complementando as etapas do ciclo de vida de um projeto POA com subetapas relevantes para a realização dos objetivos gerais de um Sistema Multiagente de Automação da Distribuição (SMAD). Seu trabalho compreende a idealização de onze módulos de gerenciamento de subestações distribuidoras e redes de distribuição com topologia radial com recurso, listados a seguir:

- SMDF: Sistema Multiagente de Diagnóstico de Falta;
- SMDIF: Sistema Multiagente de Diagnóstico, Localização e Isolação de Falta;
- SMRA: Sistema Multiagente de Recomposição Automática;
- SMPA: Sistema Multiagente de Proteção Adaptativa;
- SMGD: Sistema Multiagente de Gerenciamento de Geração Distribuída;
- SMGM: Sistema Multiagente de Gerenciamento de Microrredes;
- SMGQE: Sistema Multiagente de Gerenciamento de Qualidade da Energia;
- SMGME: Sistema Multiagente para Gerenciamento de Medição de Energia;
- SMCT: Sistema Multiagente para Controle de Tensão;
- SMME: Sistema Multiagente para Monitoramento de Equipamentos; e
- SMGA: Sistema Multiagente para Gestão de Ativos da rede elétrica.

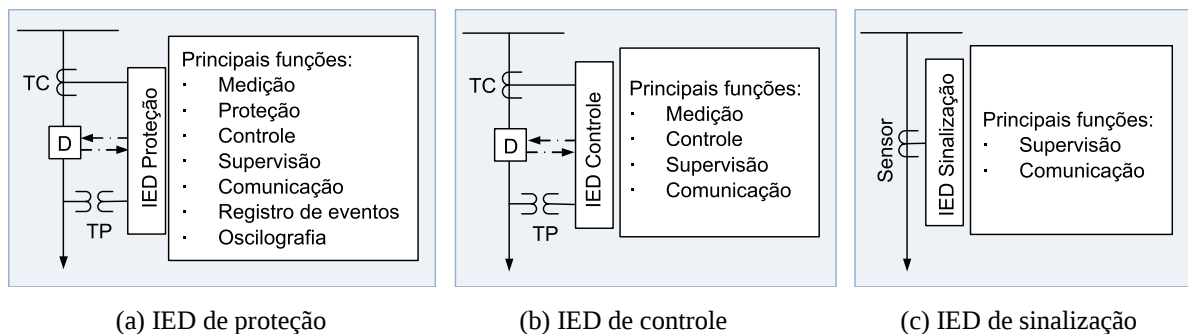
Num momento posterior, Sampaio (2017b) especifica uma lista de agentes e suas responsabilidades (Tabela 2) para a execução dos três primeiros casos de uso identificados: SMDF, SMDIF e SMRA, adotando uma arquitetura multiagentes híbrida. A princípio, o

monitoramento e controle do sistema de distribuição é realizado por três grupos funcionais de IEDs (*Intelligent Electronic Devices*) localizados em Campo⁷:

- *IEDs de Proteção*: agrega relés digitais ou numéricos de proteção baseados em microprocessadores;
- *IEDs de Controle*: agrega diversos tipos de dispositivos de controle baseados em microprocessadores associados às chaves motorizadas, seccionalizadores automáticos, dentre outros;
- *IEDs de Sinalização*: agrega dispositivos indicadores de falta.

As capacidades de cada grupo listado acima variam em função da topologia do sistema elétrico, do elemento protegido, dos equipamentos associados e do nível de automação do sistema. As funcionalidades das classes de IEDs estão ilustradas na Figura 2.

Figura 2 – Classes de IEDs



Fonte: Conforme (SAMPAIO, 2017b, fig. 2.5)

A separação funcional em grupos de equipamentos permite que haja uma neutralidade em relação às tecnologias, protocolos e equipamentos disponíveis no sistema, a fim de prover flexibilidade na implementação desses padrões e não impor mudanças massivas nas atuais infraestruturas de rede elétrica. Como exemplo, embora padrões mais interoperáveis, como a IEC 61850, sejam preferíveis no contexto de REIs, protocolos de comunicação como DNP3 e Modbus ainda são os mais consolidados em sistemas de distribuição (SAMPAIO, 2017b, p.

⁷ Referente ao modelo SGAM, ver seção 3.4. A série IEC 61850 originalmente define três níveis hierárquicos de gerenciamento de informação: processo, bay (vão) e estação. Estes níveis são equivalentes às zonas hierárquicas do modelo SGAM: processo, campo e estação, respectivamente. Neste trabalho, a nomenclatura do SGAM é adotada.

30). Uma transição repentina, além de custosa, poderia provar ser prejudicial à interoperabilidade em razão da perda de compatibilidade (ver seção 2.5).

2.7.1 SMDF, SMDIF e SMRA

Os projetos de SMDF, SMDIF e SMRA são particulares aos tipos de equipamentos primários (localizados na zona de Processo) e aos grupos de IEDs disponíveis nas subestações e ao longo dos alimentadores no SDMT. A Figura 3 lista cinco tipos de subsistemas, caracterizados pela distinção da presença de cada tipo de IED junto aos equipamentos primários. Desta maneira, o SMA proposto pode prover maior automação em caso de disponibilidade destes dispositivos, fornecendo ferramentas que podem ser aplicadas tanto a infraestruturas mais simples, como um SDMT radial sem recurso, dotado de indicadores de falta e chaves manuais, quanto a redes mais automatizadas, de topologia radial com recurso, contando com religadores, chaves motorizadas ou seccionalizadores ao longo dos alimentadores.

Figura 3 – Aplicação das classes de IEDs no SDMT

			SED		SDMT				
			Equipamentos Primários	Disjuntor Geral de Barra	Religador saída de alimentador	Religador ao longo do alimentador	Chaves motorizadas ao longo do alimentador	Indicadores de falta ao longo do alimentador	Chave de encontro de alimentadores
SMAD	1	SMRA	Agentes Externos	IED Proteção	IED Proteção	IED Proteção			IED Controle
	2			IED Proteção	IED Proteção		IED Controle		IED Controle
	3	SMDIF		IED Proteção	IED Proteção	IED Proteção			
	4			IED Proteção	IED Proteção		IED Controle		
	5	SMDF		IED Proteção	IED Proteção			IED sinalização	

Legenda:

- 1 SMRA aplicado a SDMT radial com recurso com religadores distribuídos ao longo dos alimentadores.
- 2 SMRA aplicado a SDMT radial com recurso com chaves motorizadas ou seccionalizadores distribuídos ao longo dos alimentadores.
- 3 SMDIF aplicado a SDMT radial com religadores distribuídos ao longo dos alimentadores radiais
- 4 SMDIF aplicado a SDMT radial com chaves motorizadas ou seccionalizadores distribuídos ao longo dos alimentadores.
- 5 SMDF aplicado a SDMT radial ou radial com recurso com indicadores da falta intercalados entre chaves manuais.

Fonte: (SAMPAIO, 2017b, fig. 5.11)

Na presença única dispositivos de acionamento manual, o sistema é capaz de gerar um relatório que visa auxiliar o operador na identificação da sequência de ações a serem tomadas. Caso tenha habilidade e meios para executar estas ações, o sistema se encarrega de executá-las de forma autônoma, garantindo que o operador receba o relatório de atividades efetuadas.

Tabela 2 – Lista de agentes e responsabilidades em (SAMPAIO, 2017b)

Nome do Agente	Responsabilidade	Aplicação
Agente de Monitoramento (AM)	Coleta dados dos IEDs; Identifica eventos ocorridos no SDMT e os envia ao ADC.	Todos os subsistemas do SMAD.
Agente de Diagnóstico e Configuração (ADC)	Analisa as ocorrências na rede elétrica por meio de seu simulador interno; Emite comandos de controle de chaves para o AC; Comunica ao AN a necessidade de recomposição de trechos.	SMDIF, SMDF, SMRA e demais subsistemas que fazem uso de fluxo de carga e curto-circuito.
Agente de Diagnóstico de Falta (ADF)	Recebe análises do ADC e emite relatórios de diagnóstico de falta e de recomposição para o operador do sistema. Caso a rede não possua capacidade de recomposição automática, o mesmo relatório pode ser utilizado como referência para chaveamento manual.	SMRA, SMDIF, SMDF e SMPA.
Agente de Controle (AC)	Recebe ordem de comandos de chaves do ADC; Supervisiona estado de equipamentos primários via IED em tempo real; Monitora restrições operativas do SMRA a partir de ações do operador (bloqueio da função 79 e funções de neutro, ativação da função hot-line-tag).	SMRA, SMDIF e demais subsistemas que enviam comandos e supervisionam.
Agente de Negociação (AN)	Realiza a negociação com SMA de outras subestações para recomposição de trechos sãos.	SMRA e demais subsistemas que cooperam / negociam para a solução de problemas.
Agente de Comunicação (ACom)	Opera como um drive de protocolos, interfaceando os subsistemas do SMAD com os IEDs em ambos os sentidos de comunicação.	Todos os subsistemas do SMAD.

Fonte: (SAMPAIO, 2017b)

Em (SAMPAIO, 2017a), o autor propõe melhorias na arquitetura do sistema de (SAMPAIO, 2017b) ao eliminar os agentes de controle (AC) e monitoramento (AM) e delegar suas responsabilidades ao agente de comunicação (ACom), com a distinção de que este último é associado individualmente a cada IED. Dessa forma, é prevista a existência de múltiplos agentes ACom distribuídos virtual ou fisicamente ao longo do SDMT e da SED. Estes traduzem comandos FIPA-ACL em instruções compatíveis com o IED a que se associam e recebem pacotes de dados referentes a faltas do IED e os traduzem para uma ontologia compreensível aos agentes internos.

A nova lista de agentes internos que compõem os módulos SMDF, SMDIF e SMRA é apresentada na Tabela 3, atualizada em relação àquela apresentada na Tabela 2. Conforme a Figura 4, que mostra a presença dos tipos de agente em diversos cenários, o agente de negociação (AN) se faz presente somente no Sistema Multiagente de Recomposição Automática.

Tabela 3 – Lista de agentes e responsabilidades em (SAMPAIO, 2017a)

Nome do Agente	Responsabilidade	Aplicação
Agente de Diagnóstico e Configuração (ADC)	Analisa as ocorrências na rede elétrica por meio de seu simulador interno; Emite comandos de controle de chaves para o AC; Comunica ao AN a necessidade de recomposição de trechos. Fornece propostas de recomposição a subestações vizinhas.	SMDF, SMDIF, SMRA e demais subsistemas que fazem uso de fluxo de carga e curto-circuito
Agente de Diagnóstico de Falta (ADF)	Recebe análises do ADC e emite relatórios de diagnóstico de falta e de recomposição para o operador do sistema. Caso a rede não possua capacidade de recomposição automática, o mesmo relatório pode ser utilizado como referência para chaveamento manual.	SMRA, SMDIF, SMDF e SMPA
Agente de Negociação (AN)	Realiza a negociação com SMA de outras subestações para recomposição de trechos sãos.	SMRA e demais subsistemas que cooperam / negociam para a solução de problemas
Agente de Comunicação (ACom)	Realiza a interface para a comunicação entre agentes e IED; Coleta dados de atuação do sistema de proteção e realiza o controle de chave por meio do IED ao qual está associado; Supervisiona estado de equipamentos primários via IED em tempo real; Monitora restrições operativas do SMRA a partir de ações do operador (bloqueio da função 79 e funções de neutro, ativação da função hot-line-tag).	Todos os subsistemas do SMAD

Fonte: O próprio autor, adaptado de (SAMPAIO, 2017a, 2017b)

Figura 4 – Emprego dos agentes e dos módulos de SMA em função da topologia da SED e do SDMT

		Tipos de Agentes Internos				Tipos de Agentes Externos		
		Agente Comunicação (ACom)	Agente Diagnóstico e Configuração (ADC)	Agente Negociação (AN)	Agente Diagnóstico de Falta (ADF)	Agente IED Proteção (AEp)	Agente IED Controle (AEc)	Agente IED Sinalização (AEs)
SMAD	1	SMRA	ACom	ADC	AN	ADF	AEp	AEc
	2		ACom	ADC	AN	ADF	AEp	AEc
	3	SMDIF	ACom	ADC		ADF	AEp	AEc
	4		ACom	ADC		ADF	AEp	AEc
	5	SMDF	ACom	ADC		ADF	AEp	AEc
								AEs

Fonte: Adaptado de (SAMPAIO, 2017a, 2017b)

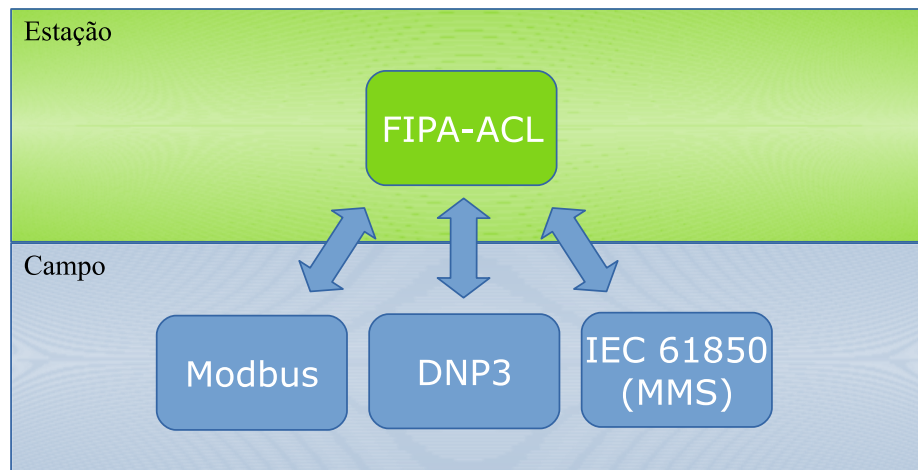
Dentre as principais características da arquitetura trazida por Sampaio (2017a), estão:

- Agentes concebidos de forma a poderem ser estendidos e reutilizados em diversas aplicações e módulos que ainda não foram implementados (SAMPAIO, 2017b, p. 64);
- Abordagem de processo de recomposição automática descentralizado como um sistema multiagente por meio da adoção do padrão FIPA, permitindo que SEDs vizinhas negociem e colaborem entre si para reestabelecer o fornecimento de energia, sem depender de um operador centralizado (SAMPAIO, 2017b, p. 67–68). A plataforma aberta PADE (*Python Agent Development Framework*), desenvolvida por Melo (2015) e aperfeiçoada por Jurema (2019), é utilizada como ambiente de criação e gerenciamento de agentes em conformidade com as normas FIPA (SAMPAIO, 2017b, p. 32);
- Adoção de um protocolo e criação de modelos interoperáveis baseados em FIPA-ACL (Figura 5), provendo ao sistema interfaces para comunicação sob diferentes protocolos usados em sistemas de distribuição, como Modbus, DNP3 e IEC 61850/MMS. A proposição do SMAD provê flexibilidade e, portanto, não impõe a fabricantes e empresas do setor elétrico uma mudança completa nas tecnologias dos IEDs, nem nos algoritmos de proteção, controle e automação (SAMPAIO, 2017b, p. 67–69);
- IEDs de proteção e controle não são sobrecarregados com a implementação de muitas lógicas internas, o que poderia afetar o desempenho de sua função principal. Os dispositivos preservam assim suas funções de proteção, controle e sinalização. Além disso, IEDs por si sós não poderiam implementar em seu hardware um configurador e simulador de redes elétricas para análises como de fluxo de carga e curto-circuito; esta tarefa é então atribuída a um dos agentes do SMAD (SAMPAIO, 2017b, p. 68–69);
- O simulador de redes elétricas utilizado por Sampaio (2017b) e Sampaio (2017a), denominado *MyGrid*, é baseado nos trabalhos de (JUREMA, 2019; MELO, 2015). O *MyGrid* se beneficia de ferramentas de análise de fluxo de carga e curto-circuito de alto desempenho baseadas em RNP (Representação Nó-Profundidade), indicada a topologias de SDMTs radiais (com ou sem recurso). Internamente o simulador possui um modelo RNP da rede elétrica, que provê maior eficiência computacional

à execução de diversos algoritmos de análise. Para maiores informações, recomenda-se a leitura do trabalho destes autores;

- Os sistemas propostos podem ser aplicados em SDMTs com diferentes recursos topológicos, operacionais e tecnológicos (SAMPAIO, 2017b, p. 69). O mesmo modelo de relatório utilizado para informar ao operador da subestação dos eventos ocorridos e da sequência de chaveamento realizada automaticamente (SMRA) pode ser facilmente utilizado em um cenário alternativo (SMDF e SMDIF) para indicar a sequência manual de chaveamento a fim de corrigir a descoordenação de proteções e isolar a falta.

Figura 5 – FIPA-ACL como padrão de comunicação interoperável



Fonte: O próprio autor

2.8 Considerações Finais

Conforme demonstrado, as Redes Elétricas Inteligentes abarcam um vasto domínio de aplicações, o que apresenta grandes desafios, como a necessidade de uma inteligência distribuída, para qual o paradigma de Sistemas Multiagentes é apresentado como solução, e a harmonização de normas e padrões diversos sob um mesmo modelo de estrutura. Diversas arquiteturas de referência foram desenvolvidas e adotadas por organizações de normalização de localidades, contextos e mercados distintos. O modelo adotado neste trabalho, entretanto, é aquele desenvolvido pelo *Smart Grid Coordination Group* europeu, denominado *Smart Grid Architecture Model* (SGAM), que agrega descrições *Use Cases* como ferramenta para a modelagem comportamental e análise de requisitos de sistemas.

3 TÉCNICAS E NORMAS APLICADAS À INTEROPERABILIDADE DE REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

3.1 Introdução

A metodologia sugerida neste trabalho se apoia nos relatórios do *Smart Grid Coordination Group*, que, por meio de *Use Cases* e do *Smart Grid Architecture Model*, definem recomendações e processos focados no desenvolvimento de sistemas interoperáveis (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a); na documentação de Neureiter (2014), que estabelece paralelos importantes entre o SGAM e o desenvolvimento de sistemas sob a abordagem *Model Driven Architecture®* (OMG, 2014); e na tese de Sampaio (2017b), que traz contribuições à identificação de requisitos em sistemas multiagentes no contexto de sistemas de potência.

A compreensão destes conceitos permite a identificação mais clara dos requisitos necessários à construção de sistemas REI. Para isso, é preciso também apontar quais aspectos devem ser considerados ao longo do ciclo de desenvolvimento e a linha guia deste processo: a promoção da *interoperabilidade* de sistemas.

3.2 Use Cases

O desenvolvimento de sistemas complexos em projetos de Engenharia de Sistemas envolve naturalmente uma etapa relacionada ao levantamento de quais funcionalidades (em termos de características estáticas e dinâmicas) o sistema deve possuir. Para que um sistema seja capaz de executar procedimentos de maneira bem determinada e eficiente, relacionando-se quando necessário com agentes externos, é essencial que todos os requisitos de *hardware* e *software*, funcionais e não funcionais, sejam mapeados pelos projetistas e bem gerenciados no decorrer do projeto.

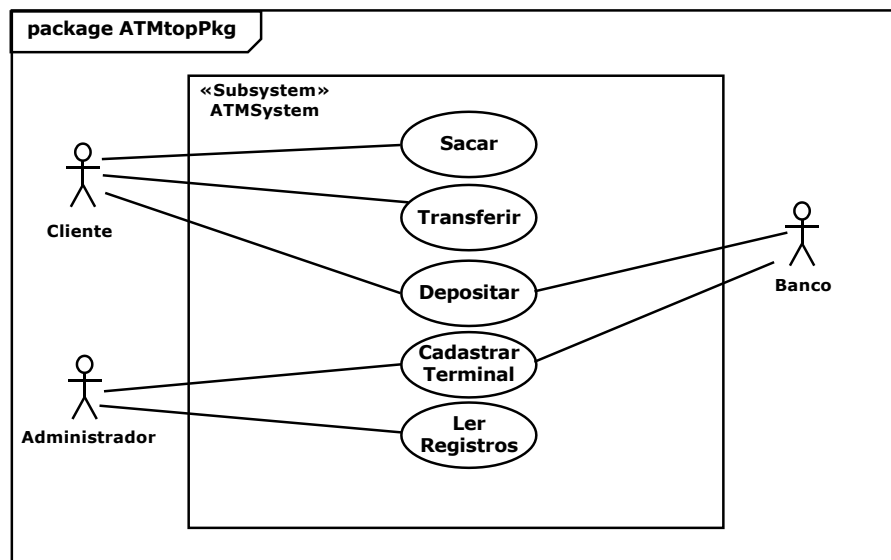
Como ilustração, um usuário ao navegar em um *website* procura satisfazer uma necessidade, comunicando-se com um sistema em particular, chamado servidor. Quando preciso, este sistema se comunica com páginas externas, servidores de bancos de dados ou qualquer outro dispositivo, componente ou sistema para obter informações que são úteis neste processo. Estes agentes são denominados atores, e exercem papéis com responsabilidades que devem ser especificadas pelos projetistas. Além disso, a cada ação do usuário, o sistema deve guiá-lo e reagir de forma a levá-lo à concretização de seus objetivos.

Um *Use case* (UC) é a uma descrição de possíveis sequências de interações entre um sistema e seus atores com o fim de alcançar um objetivo bem definido. *Use Cases* especificam passo a passo o conjunto de ações executadas pelo sistema, levando a resultados observáveis que produzam valor para uma ou mais partes interessadas. Quando tomados em conjunto, os UCs de um projeto fornecem todas as funcionalidades do sistema, ilustrando os objetivos gerais que o sistema busca entregar ao usuário e quais valores traz para as outras partes interessadas (COCKBURN, 2000, p. 15; JACOBSON; SPENCE; KERR, 2016, p. 4; OMG, 2017, p. 639).

3.2.1 Use Cases e UML

O conceito de *Use Case* foi introduzido em 1987 na conferência anual OOPSLA (Sistemas, Linguagens e Aplicações em Programação Orientada a Objeto), formalizado por Jacobson e Ericsson (1995) e recebeu contribuições de diversos autores como Cockburn (2000), Constantine e Lockwood (1999). Mais tarde, foi adotado como parte do padrão UML⁸ (OMG, 2017), ganhando uma representação visual (Figura 6).

Figura 6 – Exemplo de diagrama UML com atores, *Use Cases* e um subsistema



Fonte: (OMG, 2017, p. 643)

É importante destacar, todavia, que um UC é essencialmente uma forma de documentação escrita. Os desenhos e diagramas são ilustrações que fornecem suporte e ajudam o leitor a localizar as informações que procura, e as formas gráficas encontradas em diagramas

⁸ *Universal Modelling Language*.

de *Use Cases* como o da Figura 6 mostram somente os pacotes e a decomposição dos UCs, não o seu conteúdo (COCKBURN, 2000, p. 71).

3.2.2 Principais Componentes

A Tabela 4 traz alguns dos conceitos relacionados às estruturas e aos componentes comuns a *Use Cases*.

Tabela 4 – Componentes comuns a UCs

Ator	Cada entidade a que se atribui um comportamento dentro de um UC. Deve ser identificado não pelo nome, mas pelo papel que exerce no sistema. Pode ser um sistema externo, um usuário ou grupo, um dispositivo etc.	(Ator) Primário	Parte com maior interesse na realização do UC. É comum, porém não necessário, que este seja aquele que dá início ao UC. Exemplo: Cliente que utiliza um terminal bancário.
		(Ator) Secundário	Agente externo com o qual o sistema pode interagir para alcançar os objetivos do Ator Primário. Exemplo: Banco de dados externo, consultado durante uma transação.
Partes interessadas	Demais agentes que não interagem com o UC mas que possuem interesse em sua realização. Exemplo: Reguladores, sócios etc.		
Escopo	Refere-se à extensão ou perímetro do sistema tratado pelo UC, de maneira a clarificar o que está <i>dentro</i> ou <i>fora</i> do sistema. Exemplo: A Empresa (ou seja, a companhia como um todo, em sua busca de trazer valor a seus atores externos), um Sistema (um equipamento ou aplicativo, em contraposição a dispositivos e programas externos com que se comunica) ou Subsistema (uma porção interna ao sistema e como ela trabalha com as outras partes do sistema).		
Narrativa do UC	Texto que conta uma situação de exemplo do UC em operação, com um ator usando o sistema. Tem como alvo “ancorar” o <i>Use Case</i> e servir como uma ponte para descrições mais detalhadas e generalizadas dos requisitos, evitando assim fugir do seu escopo.		
Cenário	Representa uma das possíveis sequências de interações dentro de um UC.	Cenário Principal	É o principal dos cenários que leva ao sucesso do objetivo pretendido pelo UC (cenário ideal).
		Cenário Alternativo	Representa os outros cenários que podem levar tanto ao sucesso quanto à falha na execução dos objetivos, servindo também como extensões ao fluxo de atividades principal.
Passos	Um passo representa a unidade mais granular de atividade descrita em um cenário. Passos são executados de maneira sequencial pelo sistema ou por seus atores.		

Fonte: *SGAM User Manual* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014e, p. 20–21) e (COCKBURN, 2000)

3.2.3 Classificação

Dada a característica generalista que a metodologia UC tem em fornecer suporte à descrição de processos dos mais diversos níveis, é comum que os UCs resultantes difiram enormemente em granularidade, tipo e conteúdo. Algumas das classificações incluem (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012c):

- **Nível de detalhe:** se são concebidos para *brainstorming*, testes, se fazem parte de *clusters* ou se são abstratos (*Use Cases* de alto nível);
- **Natureza:** empresarial/comercial (*Business Use Cases*) ou técnica (*System Use Cases*), ou mesmo política/legislativa;
- **Relação geográfica:** nacional, regional ou internacional; e
- **Maturidade:** rascunho, em P&D ou próximo à implementação real.

A Tabela 5 traz algumas das classificações aplicadas aos UCs.

Tabela 5 – Tipos de Use Cases

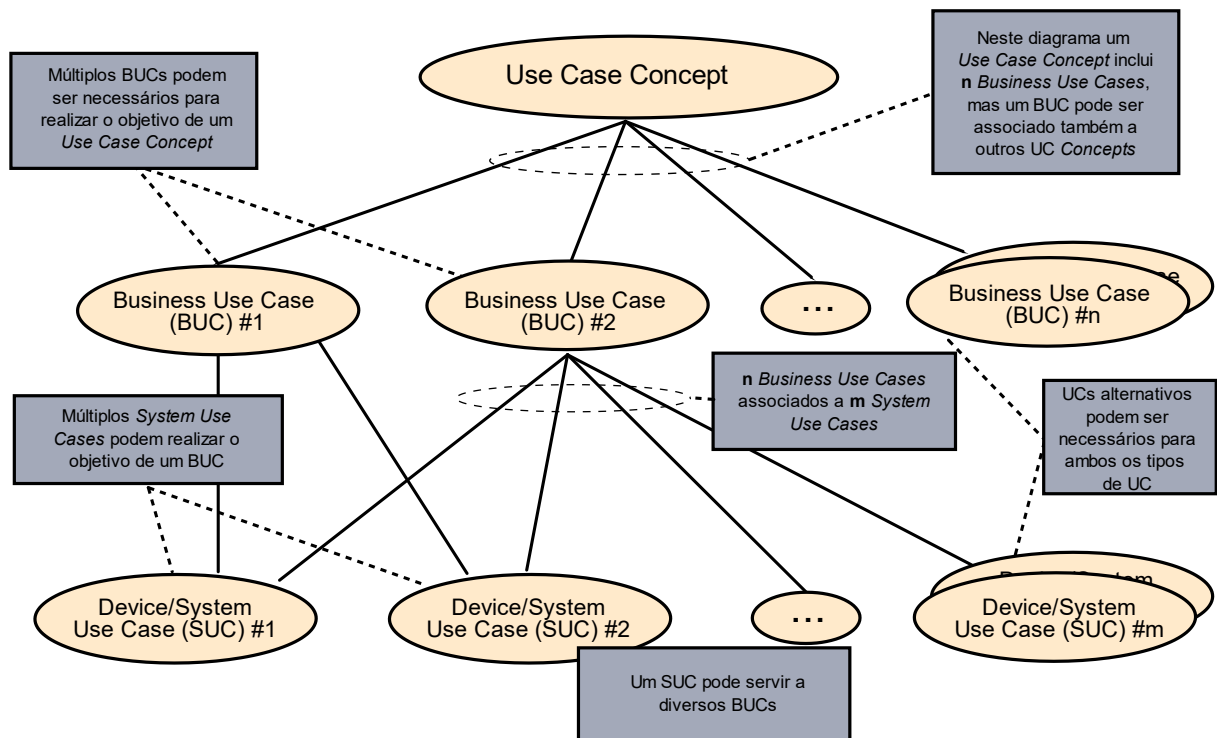
Tipo de Use Case	Descrição
<i>Cluster de Use Cases</i>	Representa um grupo de UCs com uma base em comum ou pertencendo ao mesmo sistema ou Descrição Conceitual (ver definição abaixo). Exemplo: Tarifação Inteligente
<i>Business Use Case (BUC)</i> ou <i>Use Case de Negócios</i>	Descreve processos empresariais/comerciais que atores de um sistema devem executar. Tais processos são derivados de responsabilidades previamente identificadas e definidas. Está relacionado à Camada de Negócios do SGAM e pode ser usado para detalhar uma Descrição Conceitual.
<i>System/Technical/Device Use Case (SUC)</i> ou <i>Use Case de Sistema</i>	Descreve uma função técnica necessária para facilitar ou mesmo tornar possível <i>Business Use Cases</i> . SUCs têm o propósito de detalhar a execução desses processos em uma perspectiva de informação. Estão relacionados à Camada de Função do SGAM. Em SUCs devem ser definidos e descritos os limites do sistema assim como as interações entre sistema(s) e atores externos.
<i>Use Case Concept</i> ou <i>Descrição Conceitual</i>	Descreve um conceito ou uma ideia geral, fornecendo uma visão de conjunto ou contexto para um agregado de UCs, não aplicando necessariamente um modelo de UC. Exemplo: Conceito de flexibilidade.
<i>Test Use Case</i> ou <i>Use Case de Teste</i>	É desenvolvido baseado em outros UCs a fim de testá-los em termos de interoperabilidade, funcionalidade e processos.

Fonte: *SGAM User Manual* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014e, p. 20–21)

A Figura 7 mostra o mapa de organização refletindo a granularidade dos UCs, que aumenta de cima para baixo. O nível de abstração se contrapõe ao nível de detalhes de cada

UC. No topo, *Use Case Concepts* descrevem uma ideia geral, definindo atores envolvidos e dando uma primeira noção de suas responsabilidades. Requisitos de negócios são posteriormente refinados por BUCs, que descrevem processos corporativos e a interação entre diferentes atores, tendo a empresa como escopo de *design*. Nos níveis mais baixos, SUCs trazem a perspectiva técnica necessária para alcançar os objetivos dos BUCs, tendo dispositivos ou subsistemas como escopo.

Figura 7 – Organização de UCs por nível de detalhe



Fonte: SGAM User Manual (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014e, fig. 5)

3.2.4 Aplicações e Benefícios de Use Cases

Use Cases têm seu valor e importância em razão de permitir a dedução e formalização de requisitos (funcionais e não funcionais) do sistema durante seu desenvolvimento. A sua escrita ainda pode ser adaptada em diferentes contextos e ambientes: para descrever processos de negócios, para servir como ponto de partida para discussões acerca de futuros requisitos de *software* ou para documentar o comportamento de sistemas e subsistemas internos (COCKBURN, 2000, p. 14).

Para cada situação, modelos e estilos diferentes de UCs podem ser usados, desde que os participantes estejam em comum acordo com as especificações. Assim, partes interessadas com

diferentes pontos de vista e graus de expertise, de diferentes setores da indústria, organizações ou comitês, podem cooperar entre si mais facilmente (COCKBURN, 2000, p. 14).

No domínio de REIs, *Use Cases* são usados como uma ferramenta de entendimento comum para a identificação e o desenvolvimento de interfaces e de modelos de dados, devido principalmente à complexidade dos sistemas e à grande variedade de atores e partes interessadas, como companhias na indústria de energia e de outros setores, fabricantes de equipamentos, organizações de normalização e legisladores. Das diversas vantagens na utilização de *Use Cases* em REIs, algumas delas são listadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Vantagens e razões para a adoção de *Use Cases*

<i>Use Cases agregam requisitos do sistema</i>	<i>Use Cases</i> reúnem requisitos, informações acerca de funcionalidades, processos e seus respectivos atores de forma estruturada.
<i>Suporte ao desenvolvimento de novos padrões</i>	Um dos objetivos da adoção de UCs é o fornecimento de suporte ao desenvolvimento de padrões nas fases de análise e projeto, por exemplo, em áreas como interoperabilidade, terminologias, segurança, privacidade, avaliação de riscos e outros.
<i>Ferramenta para entendimento comum entre grupos distintos de partes interessadas</i>	A discussão de UCs e de seus requisitos e descrições deve permitir um entendimento comum entre diferentes setores, comitês e organizações. Portanto, é comum que UCs sejam usados em sistemas modernos, complexos e de natureza transversal (que tangenciam múltiplos domínios), podendo ser vistos como um elo entre novos requisitos (inclusive de setores externos, como os do mercado) e o processo de normalização.
<i>Teste e treinamento</i>	<i>Use Cases</i> validados podem ser usados para propósitos de teste ou treinamento de pessoal. Em conjunto com outras ferramentas, eles podem fornecer bases para testes de interoperabilidade.
<i>Base para engenharia futura</i>	<i>Use Cases</i> descritos em um determinado modelo servem de base para tecnologias futuras em comitês técnicos, ou mesmo para projetos individuais.
<i>Não se restringem a REIs</i>	A metodologia <i>Use Cases</i> pode ser aplicada não somente a sistemas de REIs, mas também a outros domínios.

Fonte: *Overview of Smart Grid Coordination Group Methodologies* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014c)

3.3 Metodologia *Use Cases* da IEC

Motivados pelo potencial da abordagem UC e com a tarefa de elaborar um modelo padrão para projetos em REIs, a IEC (*International Electrotechnical Commission*) instituiu a série de normas IEC 62559 – *Use case methodology*, composta pelas seguintes partes (ver Figura 8):

- *Part 1 – Concept and processes in standardization*: Fornece uma base para um

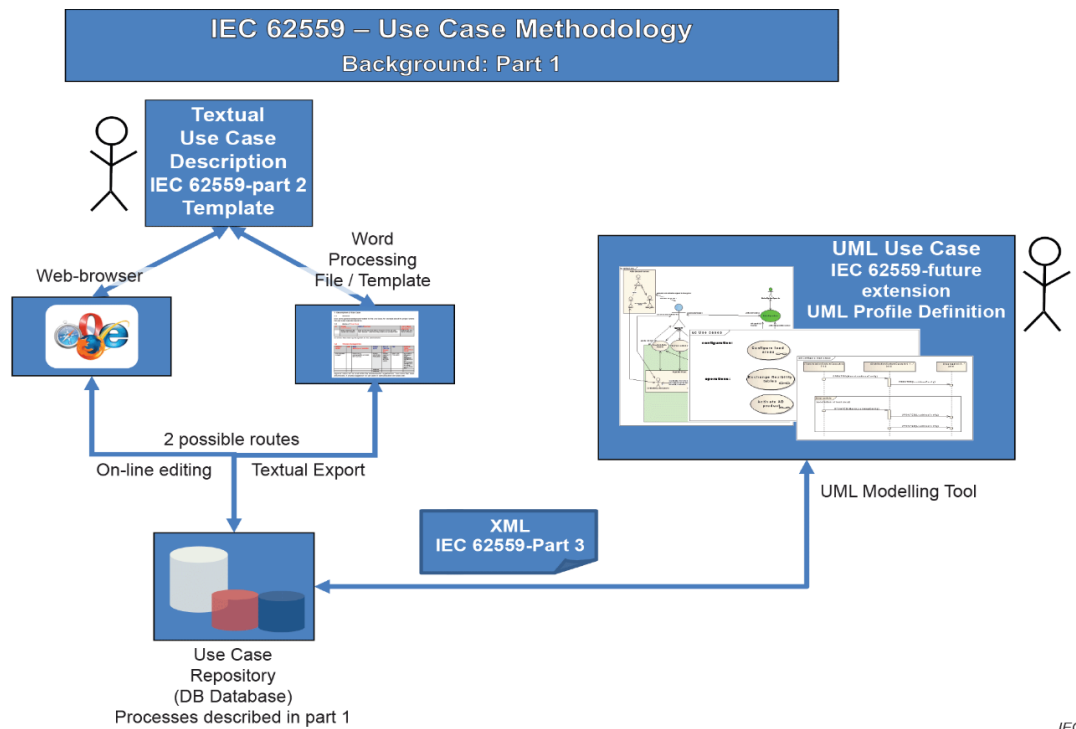
repositório comum⁹ de *Use Cases*, usado para reunir e harmonizar *Use Cases* genéricos e amplamente aceitos para futuros trabalhos de normalização em uma plataforma colaborativa comum. Esta parte também descreve processos e noções básicas da abordagem UC;

- *Part 2 – Definition of the templates for use cases, actor list and requirements list:* Define estruturas padrões para a descrição de *Use Cases* em formato de formulário, para uma lista de atores e uma lista de requisitos compartilhadas com todos os UCs;
- *Part 3 – Definition of use case template artefacts into an XML serialized format:* Define a forma da qual o modelo *Use Cases* tratado na Parte 2 deve ser serializado em XML, para serem, por exemplo, armazenados no repositório de *Use Cases* tratado na parte 1 da série;
- *Part 4 – Best practices in use case development for IEC processes and company projects:* Apresenta boas práticas para a criação de UCs em processos da própria IEC e de outras companhias, focando em recomendações em torno da abordagem UC num sentido mais amplo.

⁹ Alguns exemplos de repositórios *on-line*:

- *Smart Grid Standards Map*, uma ferramenta e repositório da IEC para identificação de *Use Cases* em REIs já normatizados pela comissão. Disponível em <http://smartgridstandardsmap.com>
- EPRI Use Case Repository, que reúne *Use Cases* no contexto de Smart Grids. Disponível em: <https://smartgrid.epri.com/Repository/Repository.aspx>

Figura 8 – Composição da série de normas IEC 62559: *The Use Case methodology*



Fonte: IEC 62559-1 (2019, fig. 1)

Além de dar cobertura a projetos em REIs, a metodologia UC da IEC também se propõe como base para aplicações em toda uma gama de domínios correlatos, como Cidades Inteligentes, Edifícios/Casas Inteligentes, sistemas de AAL (assistência remota ativa a pessoas com incapacidades), dentre outros (IEC, 2019, p. 6). O modelo para *Use Cases* definido na IEC 62559-2 possui um formato estruturado que ajuda a descrever, comparar e gerenciar *Use Cases*, abordando, dentre outros, os seguintes tópicos:

- Informações administrativas (como gerenciamento de versões do documento);
- Descrição da(s) função(ões) (por exemplo, narrativa, diagramas, descrições detalhadas de cenários e atividades);
- O sistema em questão e seu escopo de concepção;
- Atores ligados à função e às atividades; e
- Informações adicionais, como classificação, relações com outros documentos (como normas ou páginas na *web*), nível de maturidade e referências a leis ou regulações (dependendo do grau de detalhe do UC).

A versão mais detalhada do modelo IEC (que possui mais campos a serem preenchidos) é indicada para uma análise mais minuciosa de processos, de informações trocadas entre atores

e dos requisitos relacionados a essas trocas. Cabe ao autor definir o nível de detalhes do UC, de acordo com suas necessidades e a natureza do projeto. Geralmente uma abordagem inicial com descrições curtas e um modelo mais simples é recomendada. Tal modelo pode ser posteriormente detalhado, discutido e se necessário estendido, além de relacionado ou associado a outros UCs (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014c).

3.3.1 O Modelo de Use Cases Padrão IEC 62559-2

O formulário-modelo¹⁰ que especifica a Metodologia *Use Case* da IEC, apresentado na norma IEC 62559-2 (2015), abrange:

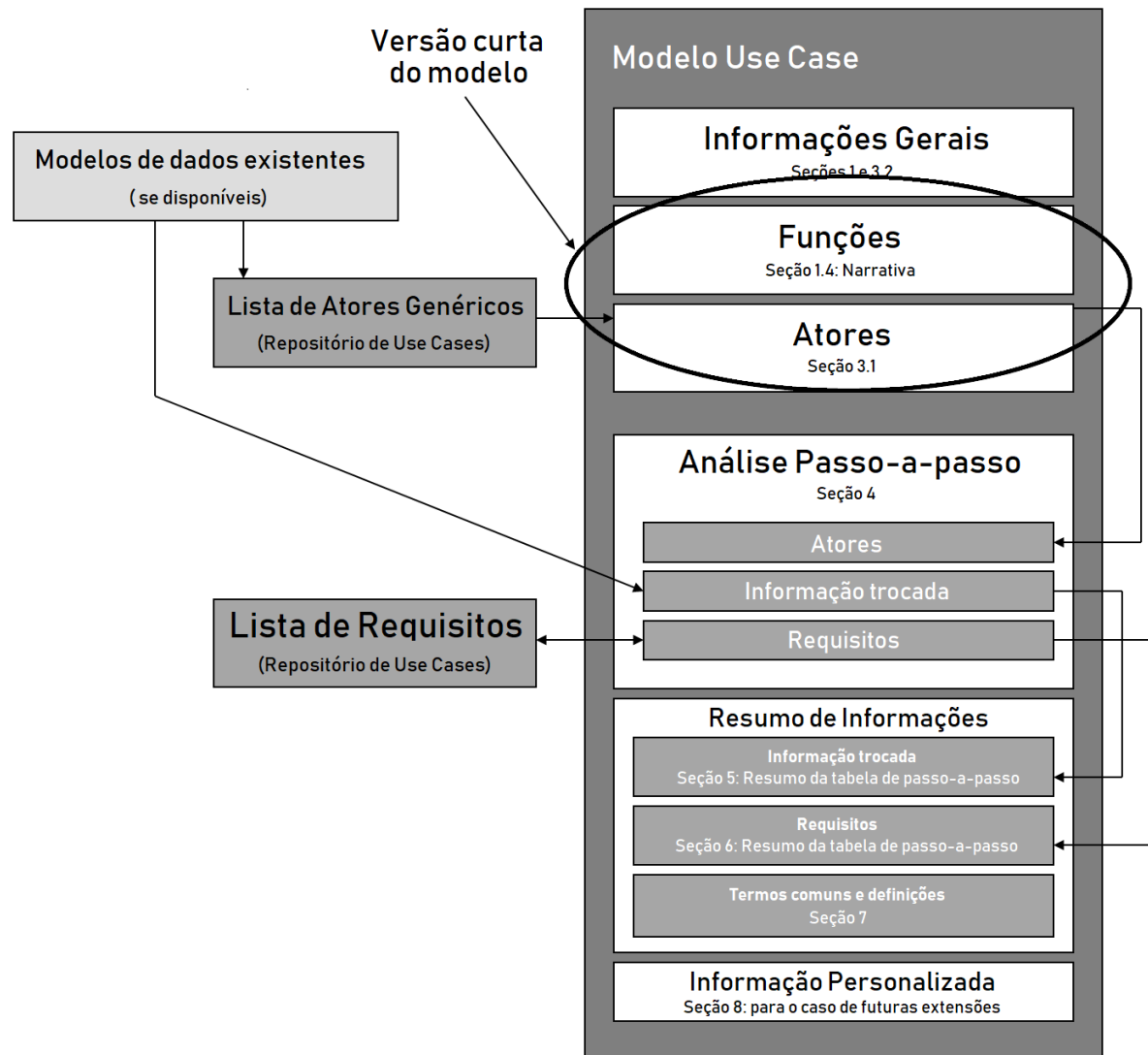
1. Descrição do *Use Case*;
2. Diagramas do *Use Case*;
3. Detalhes técnicos;
4. Análise passo-a-passo do *Use Case*;
5. Informação trocada;
6. Requisitos;
7. Termos comuns e definições; e
8. Informações personalizadas.

A Figura 9 apresenta uma visão geral da relação entre os diferentes tópicos do modelo. No Anexo A é fornecida uma descrição detalhada de todos os campos do modelo de UCs descrito na IEC 62559-2. Numa versão mais curta do modelo, denominada *Versão Básica*, apenas os itens 1 e 2 estão presentes (e, portanto, são seções obrigatórias para a descrição de qualquer UC). A descrição do *Use Case* é então condensada na sua narrativa, presente no tópico 1.4 do Anexo A, de onde as demais informações podem ser extraídas.

Além da descrição dos *Use Cases*, a IEC 62559-2 fornece recomendações para a criação de uma lista de atores (quer sejam de negócios ou de sistema) e uma lista de requisitos. Estas duas listas devem ser definidas separadamente para servirem como referência a todos os *Use Cases*.

¹⁰ Adaptado do inglês *template*.

Figura 9 – Visão geral dos tópicos do modelo de *Use Case* da IEC 62559-2



Fonte: Adaptado de (IEC, 2015, fig. 2)

3.3.2 Indicações para o Desenvolvimento de Use Cases

Do ponto de vista de interoperabilidade, *Use Cases* descrevem o comportamento exato dos sistemas, assim como as suas interações por meio do intercâmbio de informações. Além disso, UCs servem de base para a identificação de sistemas e subsistemas, suas funcionalidades, atores, interações e interfaces, permitindo assim o desenvolvimento e a especificação dos requisitos funcionais e não funcionais. Dentro da perspectiva de manutenção de sistemas interoperáveis, a descrição de UCs deve considerar os seguintes pontos (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a, p. 18):

- *Validação dos atores de negócios e de sistema:* a definição destes precisa estar em

conformidade com a definição padrão da IEC 62559-2, de forma que possam ser clara e corretamente interpretados por todas as partes interessadas;

- *Discussão dos cenários e passos a serem inclusos nos UCs*: usando o modelo de passos sugerido na IEC 62559-2 e documentando as características de interoperabilidade. Na descrição dos passos, deve haver uma correlação clara com a narrativa, com enfoque às interações e fluxos de informação entre atores;
- *Identificação de requisitos*: a IEC 62559-2 recomenda uma lista de categorias que podem ser utilizadas para a organização de requisitos. Esta mesma lista pode servir como inspiração para a identificação de novos requisitos:
 - *Camada de Negócios*: políticas regulatórias; objetivos de negócios;
 - *Camada de Função*: procedimentos corporativos;
 - *Camada de Informação*: contexto de negócios; Compreensão semântica;
 - *Camada de Comunicação*: interoperabilidade sintática; interoperabilidade semântica;
 - *Camada de Componentes*: conectividade básica;
 - *Questões transversais*: significado compartilhado de conteúdo; identificação de recursos; sequenciamento e sincronização de tempo; registro e auditoria; transação e gerenciamento de estados; preservação do sistema, qualidade de serviço; descoberta e configuração; evolução do sistema e escalabilidade;
 - *Implementação*: sistema de informação e proteção da comunicação; gerenciamento de dados; requisitos de desempenho funcional; avaliação de segurança e risco; conexões e IHM (interface homem-máquina).

3.4 *Smart Grid Architecture Model*

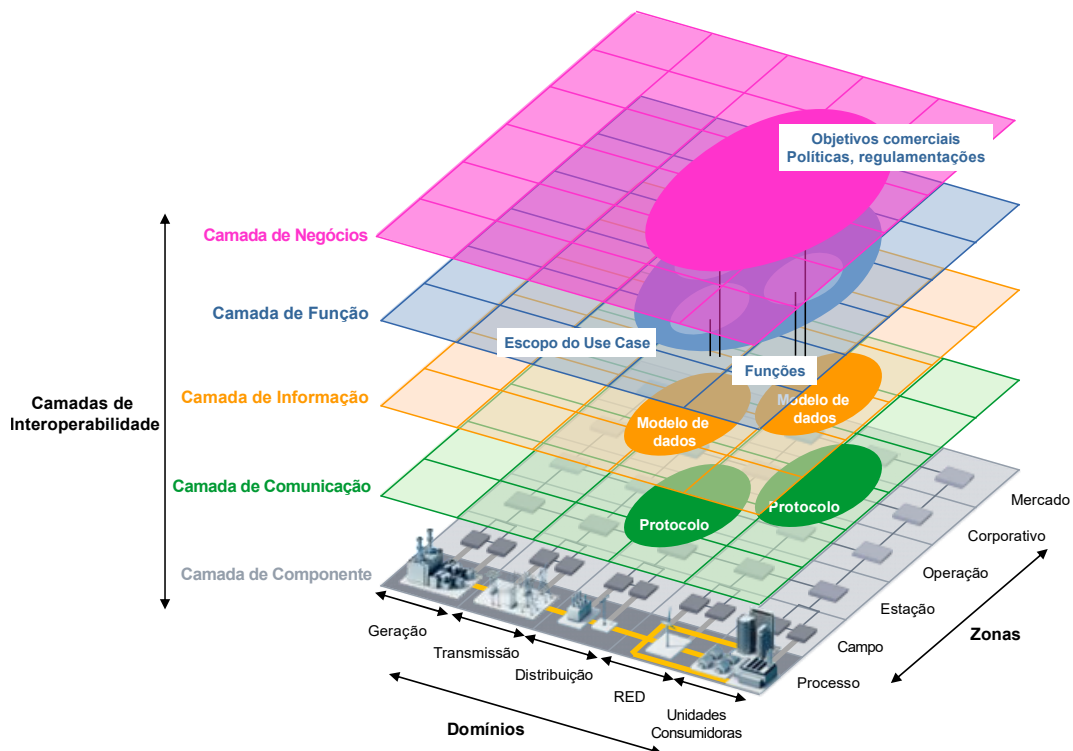
O desenvolvimento do *Smart Grid Architecture Model* (SGAM) é resultado de um dos grupos de trabalho do *Smart Grid Coordination Group* (SG-CG), constituído por três comitês europeus de normalização, CEN, CENELEC e ETSI, como resposta ao Mandado M/490 da Comissão Europeia (EC DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY, 2011). Trata-se de um modelo de referência destinado à análise e visualização tridimensional de *Use Cases* em REIs de maneira tecnologicamente neutra. O seu uso permite uma abordagem sistemática para diferentes soluções em REIs, fornecendo representações visuais do atual estado de implementação da rede elétrica e das evoluções esperadas em cenários futuros

(CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014e, p. 11). Além de utilizado em processos de normalização, o SGAM também pode ser empregado em projetos dentro de REIs para:

- Permitir uma análise estruturada de *Use Cases*;
- Visualizar e comparar diferentes abordagens a arquiteturas, paradigmas, roteiros e perspectivas;
- Fornecer um guia para análise de cenários com potencial de implementação;
- Assegurar um entendimento comum entre diferentes partes interessadas;
- Identificar normas e lacunas de padronização;
- Visualizar o escopo do projeto;
- Em geral, lidar com a complexidade crescente de REIs.

O SGAM, mostrado na Figura 10, separa em dois eixos a gestão de processos energéticos, relacionados aos domínios físicos em que a energia elétrica é gerada, transformada, transportada, distribuída e consumida, da gestão da informação, que diz respeito aos níveis hierárquicos que separam ou agregam funcionalmente o gerenciamento do sistema de potência. Além disso, num terceiro eixo, perpendicular aos dois primeiros, o modelo abarca cinco camadas de interoperabilidade entre sistemas e componentes.

Figura 10 – *Smart Grid Architecture Model*

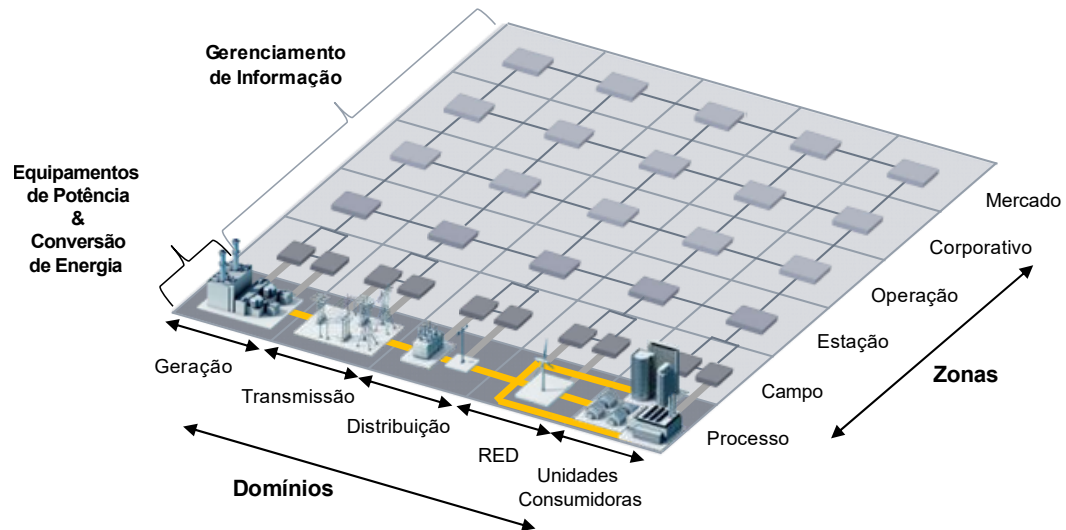


Fonte: Adaptado de (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014b)

3.4.1 Domínios e Zonas do SGAM

O *Smart Grid Plane* (Figura 11) traz as perspectivas de domínios físicos da cadeia de conversão de energia elétrica e as zonas hierárquicas destinadas ao gerenciamento de processos. Ele torna possível a análise de interações entre processos e domínios no gerenciamento de sistemas de potência.

Figura 11 – SGAM Smart Grid Plane



Fonte: Adaptado de (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014b)

Os Domínios descrevem capacidades fisicamente relacionadas à rede elétrica, organizados de acordo com a cadeia de conversão de energia elétrica, desde a geração até o consumo. São eles:

- **Geração:** inclui grandes usinas conectadas ao sistema de transmissão nas quais grandes quantidades de energia é gerada.

Exemplo: hidroelétricas, usinas a combustível fóssil e termonucleares;

- **Transmissão:** representa a infraestrutura elétrica que transporta eletricidade por grandes distâncias desde geradores até grandes consumidores ou cidades inteiras;
- **Distribuição:** representa a infraestrutura elétrica que distribui a eletricidade a consumidores de menor porte;
- **Recursos Energéticos Distribuídos (RED):** inclui usinas de pequeno porte conectadas diretamente à malha de distribuição, com menores capacidades de geração (de 2 a 10.000 kW); e
- **Unidades Consumidoras:** representa consumidores comuns (residenciais,

industriais e comerciais) bem como prosumidores com geração fotovoltaica ou microturbinas conectadas à rede de distribuição.

Ainda que possam possuir equipamentos para geração de energia, os domínios RED e Unidades Consumidoras são separados do domínio de Geração. O principal atributo que diferencia a geração em RED da geração de energia em Unidades Consumidoras é o fato de a primeira possuir como principal objetivo a comercialização da energia produzida, enquanto a segunda utiliza a rede primariamente como fonte.

As Zonas descrevem diferentes níveis hierárquicos de gerenciamento de informação dentro do sistema, a saber:

- **Processo:** representa a área em que ocorrem transformações físicas, químicas e espaciais de energia (elétrica, luminosa, térmica e mecânica) e os equipamentos físicos diretamente relacionados.

Exemplo: transformadores, geradores, cabos, disjuntores.

- **Campo:** inclui equipamentos relacionados à proteção, controle e monitoramento.

Exemplo: IEDs de controle, proteção e sinalização, disjuntores, religadores.

- **Estação:** nível que agrega equipamentos da zona de Campo.

Exemplo: sistemas locais de SCADA, concentradores de dados;

- **Operação:** fornece operações para controle de sistemas de potência dentro do respectivo domínio.

Exemplo: *Distribution Management System*¹¹ (DMS), *Energy Management System*¹² (EMS) em sistemas de geração e transmissão, sistema de gestão para carregamento de veículos elétricos;

- **Corporativo:** inclui infraestruturas, processos e serviços de caráter comercial, administrativo e organizacional.

Exemplo: gestão de ativos, logística, gestão de relacionamento com o cliente;

- **Mercado:** representa operações de mercado ao longo da cadeia de conversão de energia elétrica.

Exemplo: comércio de energia, mercados atacadista e varejista.

¹¹ Sistema de Gerenciamento de Distribuição.

¹² Sistema de Gerenciamento de Energia.

A hierarquia das zonas reflete os conceitos de *agregação* e de *separação* funcional. Como exemplo de agregação de dados, valores de medições realizadas por dispositivos localizados na zona de Campo são geralmente concentrados na zona de Estação e processados na zona de Operação. A agregação espacial pode ocorrer quando múltiplas unidades de RED são combinadas para formar uma só VPP (*Virtual Power Plant* ou *Planta Virtual de Geração*). Já a separação funcional distingue, por exemplo, funções para medição, que são geralmente locais, de funções localizadas na zona de Operação, que cobrem vastas áreas, múltiplas subestações e plantas e abrangem equipamentos distintos para propósitos comuns.

3.4.2 Camadas de Interoperabilidade do SGAM

As camadas de Interoperabilidade são superpostas ao longo do eixo vertical na Figura 10, acima do plano de zonas e domínios. Elas permitem a representação de perspectivas de negócios, de caráter técnico ou de natureza física. As camadas são:

- **Camada de Negócios:** consiste em estruturas e políticas regulatórias e econômicas, modelos de negócios, portfólios, capacidades e processos.

Exemplo: objetivos corporativos como redução do consumo de energia.

- **Camada de Função:** descreve funções e serviços derivados de necessidades comerciais, representados independentemente de atores, aplicações, sistemas e componentes.

Exemplo: funcionamento de uma plataforma *online* de venda de bilhetes.

- **Camada de Informação:** descreve a informação trocada entre atores e funções, objetos de informação e seus modelos de dados canônicos.

Exemplo: CIM, conjuntos de dados padrão IEC 61850.

- **Camada de Comunicação:** descreve mecanismos e protocolos para o intercâmbio de dados entre funções.

Exemplo: TCP/IP, PLC, MMS sobre TCP/IP.

- **Camada de Componentes:** representa todos os elementos físicos que realizam uma função dentro do contexto de REIs, bem como seus elementos lógicos (como *softwares*) e suas relações.

Exemplo: Relés, sistema de gestão, sensores.

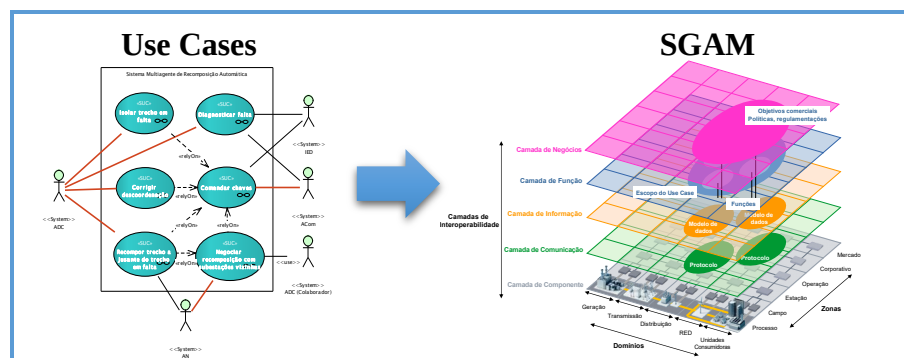
3.4.3 Mapeamento de Use Cases no SGAM

A descrição dos UCs traz à tona as funcionalidades do sistema e, portanto, uma visão geral da sua Camada de Função. O processo de mapeamento de UCs no SGAM (ilustrado na Figura 12) deve servir como ferramenta para a seleção de normas, interfaces e protocolos relevantes, assim como a definição de perfis para cada uma das demais camadas de interoperabilidade:

- Primeiramente, deve-se mapear domínios e zonas do SGAM afetados pelos UCs, distribuindo os subsistemas e componentes em localizações apropriadas no plano;
- A Camada de Componente é desenvolvida ao se mapear os atores e sistemas do diagrama UC ao diagrama de domínio-zona do SGAM de tal forma que a configuração dos componentes físicos no plano possa ser desenhada;
- Para a Camada de Informação, é importante identificar no UC quais são os dados e informações que devem ser trocados e por quais componentes. Baseado no tipo de informação trocada, um modelo de informação canônico ser selecionado. Alguns modelos canônicos são listados no item 3.4.3.3;
- Depois de mapeada a Camada de Informação, o passo final é o desenvolvimento da Camada de Comunicação, que se baseia na identificação do tipo de rede de comunicação em função de sua localização no plano SGAM.

O passo-a-passo recomendado neste trabalho é melhor descrito no Capítulo 5, buscando inspiração no processo descrito pelo SG-CG (2014b). A abordagem recomendada parte da análise do *Use Case* a ser mapeado, que inclui o preenchimento dos campos detalhados no Anexo A deste trabalho e passa pelo desenvolvimento de cada uma das camadas de interoperabilidade do SGAM, mapeando cada entidade no plano de domínios e zonas.

Figura 12 – Mapeamento de *Use Cases* no modelo SGAM



Fonte: adaptado de (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014b)

O caráter flexível do modelo SGAM permite que um dado *Use Case* possa ser mapeado de diferentes formas às camadas de Informação e de Comunicação. Algumas normas ainda definem protocolos que abrangem ambas as camadas, como a IEC 61850-8-1 que trata de mensagens GOOSE. A escolha dos perfis a serem considerados depende dos requisitos funcionais e não funcionais do projeto, assim como especificações de outras camadas, por exemplo, a escolha de IEDs para a camada de Componente que adotam as especificações da IEC 61850.

3.4.3.1 *Camada de Negócios*

Na Camada de Negócios são identificados todos os produtos, processos, serviços e organizações de aspecto corporativo associados ao UC, o que inclui objetivos comerciais e restrições econômicas e regulatórias. Essas entidades são posteriormente associadas aos eixos de domínios e de zonas hierárquicas, constituindo assim a Camada de Negócios. Numa abordagem mais simplificada, é possível mapear diretamente os BUCs à Camada de Negócios, além de identificar todos os atores de negócios envolvidos nos UCs.

Em mercados de eletricidade, é muito comum que diversos papéis sejam exercidos por uma mesma entidade. Por exemplo, um operador do sistema de distribuição europeu frequentemente exerce os papéis de operador do sistema, administrador de pontos de medição e provedor de acesso à rede. Entretanto, em outros mercados, estes papéis podem ser exercidos de forma independente por diferentes entidades (ENTSO-E; EFET; EBIX, 2019, seq. 2).

Para lidar com este tipo de problema em mercados europeus, o *Harmonised Electricity Market Role Model* (HRM), ou *Modelo Harmonizado de Atores do Mercado de Eletricidade*, é o principal guia de referência para a identificação de atores de mercado e de suas interações. Este modelo é um esforço conjunto da ENTSO-E, EFET e ebIX (2019) para facilitar o diálogo entre participantes do mercado de diferentes localidades por meio da designação de um vocabulário comum, a ser empregado durante o intercâmbio de informações. O diagrama de atores do HRM está disponível no Anexo B, entretanto, a lista das definições dos atores deve ser consultada junto ao documento correspondente.

Adotar o HRM em um contexto mesmo diferente do europeu pode permitir uma flexibilização maior da implementação de um projeto a diferentes casos de negócios, aumentando a interoperabilidade na Camada de Negócios mesmo para condições de mercado menos comuns atualmente, mas que podem emergir sob demandas futuras.

3.4.3.2 *Camada de Função*

As funções e serviços que fornecem suporte à Camada de Negócios são reunidas na Camada de Função. Elas são derivadas por meio da identificação das funcionalidades de cada *Business Use Case*. Os objetivos dos BUCs podem ser refinados em objetivos de mais baixo nível, diretamente mapeáveis em SUCs que representam cada função. De forma usual, estas funções são localizadas no plano de domínios e zonas para a composição da Camada de Função. Alguns grupos de funções comuns em redes elétricas são identificados para referência no Anexo C.

3.4.3.3 *Camada de Informação*

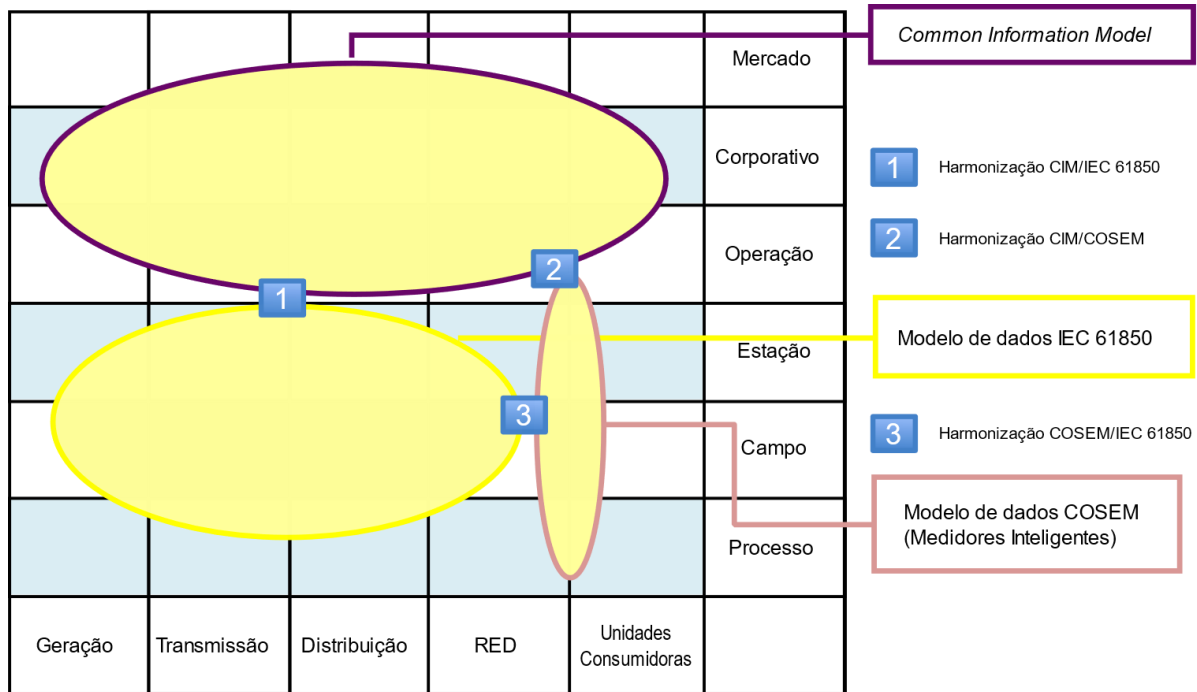
As informações trocadas entre funções, serviços e componentes são descritas na Camada de Informação. Objetos de informação são derivados diretamente da descrição do UC, que traz consigo o conteúdo das mensagens trocadas pelos atores envolvidos. Por meio da análise de requisitos, modelos canônicos de dados (como o CIM) capazes de fornecer suporte a estes objetos podem ser identificados com base nas normas disponíveis. Os objetos e os modelos canônicos empregados são então mapeados ao domínio e zona em que estão sendo usados.

A elaboração da Camada de Informação representa um passo importante para o alcance de soluções com alto grau de interoperabilidade semântica. A modelagem de dados baseada em modelos canônicos interoperáveis permite que diferentes partes interessadas possam entrar em acordo entre si a respeito da forma de comunicação e da sintaxe utilizada, além de se mostrar muito mais estável que tecnologias de comunicação, o que dá ainda mais importância a este processo (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2017, seq. 9.2). No contexto europeu, são identificados três grandes modelos de informação que representam vocabulários presentes em três diferentes contextos de REIs:

- CIM (*Common Information Model*), representado pelas séries IEC 61970, IEC 61968 e IEC 62325;
- Modelo de dados da série IEC 61850 (partes 3, 6 e 7); e
- COSEM (*Companion Specification for Energy Metering*), representado pela série IEC 62056.

Assim, são identificados três trabalhos de harmonização (ou seja, definições de subáreas semânticas compartilhadas) que permitem o acoplamento semântico entre estes domínios, conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Mapa de modelos de dados na Camada de Informação do SGAM



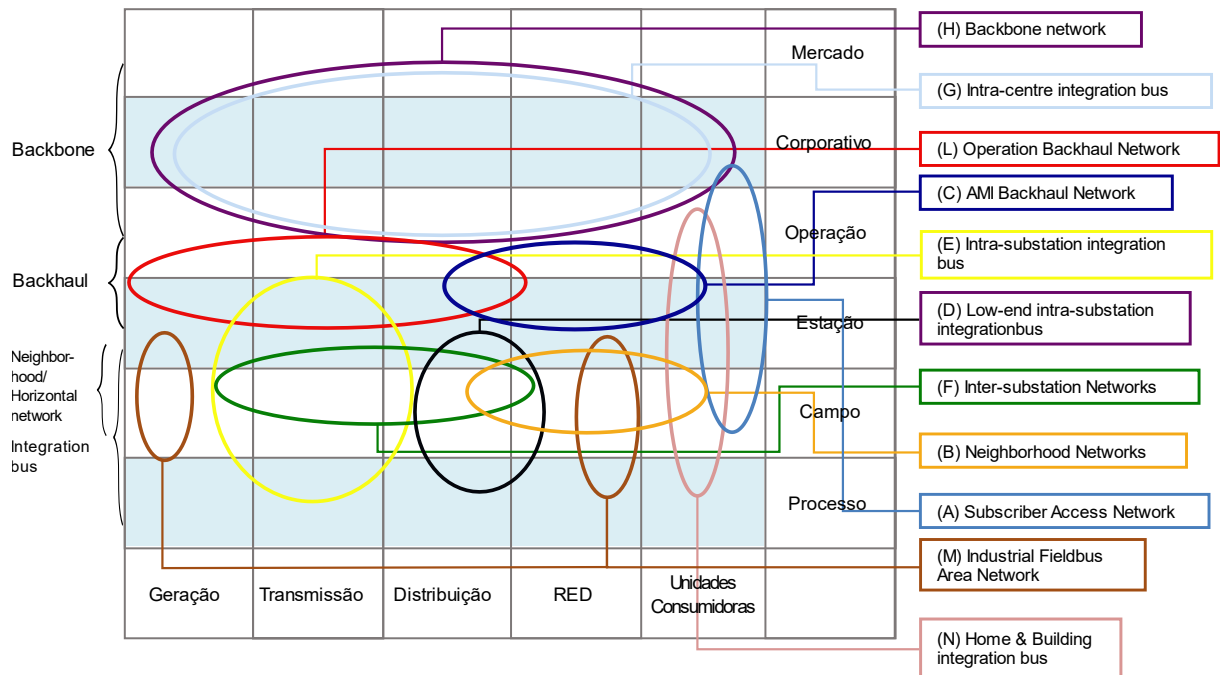
Fonte: (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2017, fig. 72)

3.4.3.4 Camada de Comunicação

A Camada de Comunicação descreve protocolos e mecanismos para o intercâmbio interoperável dos objetos de informação. Os objetos e seus respectivos modelos canônicos, já devidamente identificados na Camada de Informação, assim como outros requisitos não funcionais do UC, servem de base para que os protocolos ou mecanismos apropriados sejam determinados e logo mapeados ao plano de domínios e zonas do SGAM.

O SG-CG identifica em (SG-CG, 2014) diferentes tipos de redes de comunicação que podem estar presentes na arquitetura geral em REIs. Elas são mostradas mapeadas no plano SGAM na Figura 14. As áreas de responsabilidade ilustradas não são, entretanto, de caráter normativo para todas as possíveis implementações. A Tabela 7 fornece indicações de tecnologias de comunicação padrão que podem ser aplicadas para cada um dos tipos de redes listados. Das tecnologias listadas, várias delas podem ser empregadas numa mesma pilha de protocolos ou em conjunto.

Figura 14 – Mapa de redes de comunicação na Camada de Comunicação do SGAM



Fonte: (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014e, fig. 16)

(A) *Subscriber Access Network (SAN)*

Redes de comunicação com acesso banda-larga para as instalações das Unidades Consumidoras, como casas, prédios e indústrias. Inclui conexões à *internet*, mas não se limita a estas. Embora não façam parte da infraestrutura das REIs, elas podem ser usadas para o fornecimento de serviços a consumidores, como o de Medidores Inteligentes e o gerenciamento de prosumidores agregados.

(B) *Neighborhood network*

Redes de comunicação situadas entre subestações de distribuição e consumidores finais. É composta de quaisquer redes dedicadas que operam nas regiões mais próximas às “vizinhanças” do usuário final. Podem ser usadas para Medição Inteligente ou infraestruturas para carregamento de veículos elétricos.

(C) *Multi-services backhaul Network*

Redes de comunicação situadas numa camada superior ao nível de distribuição, constituindo uma arquitetura de multisserviços que integra as várias redes internas à distribuição e as conecta a centros de controle via WAN (*Wide Area Network*) ou a subestações primárias para facilitar o emprego de inteligência distribuída no nível da subestação. Também

provê conectividade do tipo ponto-a-ponto ou estrela para inteligência distribuída no nível da distribuição.

(D) *Low-end intra-substation network*

Redes de comunicação internas a subestações secundárias ou de transformação MT/BT¹³, geralmente conectando RTUs¹⁴, disjuntores e diferentes sensores de qualidade de energia.

(E) *Intra-substation network*

Redes de comunicação internas a subestações de distribuição primária ou a subestações de transmissão. São relacionadas a funções críticas de baixa latência, como tele proteção. Internamente à subestação as redes podem comportar até três barramentos: de sistema, de processo e de multiserviços.

(F) *Inter substation network*

Redes de comunicação que interconectam subestações entre si e com centros de controle. São WANs possivelmente com requisitos estritos de performance, como baixa latência e capacidade de transmissão ininterrupta de dados. Além disso, elas podem requerer alto nível de escalabilidade e apresentar diversas topologias e meios físicos em função dos desafios geográficos. As redes da camada de controle do sistema fornecem conexões para sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), SIPS (*System Integrity Protection Scheme*), mensagens de eventos e tráfego de telemetria de monitoramento remoto de ativos, bem como conectividade ponto-a-ponto para tele proteção e inteligência distribuída a nível de subestação.

(G) *Intra-Control Center / Intra-Data Center Network*

Redes situadas no interior de dois tipos diferentes de instalações na empresa: *data centers* e *control centers*. Elas estão na mesma camada lógica, mas não são as mesmas redes, pois centros de controle têm requisitos muito diferentes para conexão com sistemas em tempo real e segurança em comparação com os *data centers* corporativos, que não se conectam a

¹³ Média tensão / baixa tensão.

¹⁴ *Remote Terminal Units*.

sistemas em tempo real. Cada tipo fornece conectividade para sistemas dentro da instalação e conexões com redes externas, tais como controle de sistemas.

(H) *Backbone Network*

Redes corporativas ou de campi, bem como redes de centro de intercontrole, que interligam serviços geralmente compostos de vários centros de controle ou localizados em vários campi separados geograficamente.

(L) *Operation Backhaul Network*

Redes de comunicação com infraestrutura pública ou privada usadas para operação remota, interconectando dispositivos de rede à zona de operação ao longo de uma grande área, como região ou país.

(N) *Home and Building integration bus Network*

Redes que interconectam dispositivos de rede e subsistemas de unidades consumidoras de forma a compor um só sistema de gerenciamento residencial ou predial.

(M) *Industrial Fieldbus Area Network*

Redes que interconectam equipamentos para controle de processos, principalmente em geração de energia (em grande escala ou distribuída).

Na Tabela 7 são apresentadas as tecnologias de comunicação padrão aplicadas nas redes tipo A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, L, N e M. Das tecnologias listadas, várias delas podem ser empregadas numa mesma pilha de protocolos ou em conjunto. A linha relacionada a protocolos de comunicação de camadas superiores refere-se a *Web Services*, como aqueles baseados em serviços compatíveis com SOAP/RPC¹⁵ ou REST¹⁶, ambos geralmente utilizando IP na camada de rede. Informações adicionais a respeito dos tipos de rede e das tecnologias indicadas na tabela podem ser encontradas no anexo F da (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014b).

¹⁵ *Simple Object Access Protocol / Remote Procedural Call.*

¹⁶ *Representational State Transfer.*

Tabela 7 – Aplicabilidade das tecnologias de comunicação às redes de REIs

Protocolos		A	B	C	D	E	F	G	H	L	N	M
Protocolos IEEE (Camadas 1 e 2)	IEEE 1901.2 PLC a Banda Estreita											
	IEEE 1901 PLC a Banda Larga											
	IEEE 802.15.4 WPAN de Baixa Vel.											
	IEEE 802.11 (WiFi)											
	IEEE 802.3/1 (Ethernet)											
	IEEE 802.16 (WiMAX)											
Protocolos IETF (Camadas 2.5, 3, 4 e superiores)	IPv4											
	IPv6											
	RPL / 6LoWPAN / 6TiSCH											
	IP MPLS / MPLS TP											
	XMPP											
Protocolos ITU	SDH/OTN											
	DSL/PON											
	DWDM											
	PLC a Banda Estreita (MT e BT)											
	PLC a Banda Estreita (AT e EAT)											
	PLC a Banda Larga											
Padrões ANSI	SONET / SONET NG											
Protocolos ETSI / 3GPP	ETSI TS 102 887 Wireless (IEEE 802.15.4g)											
	GSM / GPRS / EDGE											
	3G / WCDMA / UMTS / HSPA											
	ETSI TS 103 908											
	4G LTE/LTE-A											
Padrões EN	EN 61334											
	EN 14908											
	EN 50090											
	EN 13757											
Padrões IEC	IEC 61158											
	IEC 61850											
	IEC 60870-5											
Low Power Wide Area	LORA / NB-IoT / UNB											
Protocolos de Comunicação de Camadas Superiores												

Legenda: Verde = Normalmente usado; Laranja = Pode ser usado

Fonte: (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2017)

3.4.3.5 Camada de Componentes

A Camada de Componentes é derivada diretamente da informação acerca dos atores de sistema do UC. Atores de sistema podem ser mapeados a dispositivos, aplicações ou sistemas

inteiros. Em função do contexto em que atua dentro dos UCs, cada ator pode ser facilmente localizado nos domínios e zonas em que residem.

No Anexo D é apresentada uma lista de componentes já mapeados ao plano domínio–zona do SGAM, que pode servir como base para a identificação do escopo de *Use Cases* e para a associação dos atores envolvidos aos dispositivos físicos ou lógicos na Camada de Componente. A definição de cada um dos componentes da figura do Anexo D pode ser encontrada em (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012a, seq. 7.6.2).

3.5 Profiling

Um perfil, ou *profile*, é um documento que descreve a maneira em que uma norma ou especificação é adotada em um contexto de projeto de forma a atender aos requisitos de uma ou mais funções, aplicações ou *Use Cases* particulares. Perfis podem conter informações sobre a seleção de modelos de dados, serviços a serem realizados, mapeamento de protocolos, além da definição de instâncias (como aplicações e dispositivos específicos), procedimentos (como lógicas de programação e sequências de mensagens) e de valores específicos para certos parâmetros (bandas de frequência, métricas). A adoção de perfis permite uma melhoria na qualidade da interoperabilidade (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a, p. 21–26) na medida em que:

- Assegura que, no caso de normas ou padrões que possibilitam múltiplas vias ou opções de interpretação ou implementação, somente uma (ou um conjunto) delas deve ser adotada, removendo outras que não são usadas no contexto do perfil;
- Restringe padrões ao conteúdo mínimo necessário a um contexto bem definido, reduzindo a complexidade de se trabalhar com normas inteiras, diminuindo os esforços de integração e facilitando a compreensão do escopo pelas partes interessadas.

Perfis podem ser desenvolvidos para atender a especificações de informação de um certo grupo de usuários compartilhando interesses ou domínios de atuação. Como exemplo, a ENTSO-E (2014) por meio de seus membros estabelece um perfil baseado na IEC 61970-552 (CIM) para modelagem e compartilhamento de modelos de suas redes elétricas de transmissão. Além disso, companhias podem criar seus próprios perfis baseados em perfis de grupos de usuários, que possuem caráter mais genérico. O *feedback* das experiências e das

implementações dessas empresas pode ser usado para o aperfeiçoamento dos perfis desses grupos em versões futuras.

3.5.1 Metodologia para a Definição de Perfis

Com base nas recomendações do SG-CG (2014a, p. 20), a metodologia recomendada para a definição de perfis se dá com os seguintes passos:

- 1) Análise funcional
 - a) Selecionar *Use Case(s)* que determina(m) os requisitos funcionais, preferencialmente descritos com base no modelo da norma IEC 62559-2;
 - b) Definir em quais camadas, dentre as camadas de Informação, Comunicação e Componente, a interoperabilidade é necessária para satisfazer os requisitos funcionais.
- 2) Seleção de normas e padrões
 - a) Definir as interfaces físicas e os canais de comunicação necessários entre objetos;
 - b) Selecionar conjunto de padrões para cada interface dentro de cada camada, identificando possíveis lacunas de conformidade às normas. Se necessário, especificar opções adicionais. Como sugestão, o SG-CG (2014a, p. 20) recomenda o uso da sua *IOP Tool*¹⁷ para identificar possíveis normas aplicáveis para cada região nos três eixos do SGAM.
- 3) Elaborar perfis baseados nas normas e padrões
 - a) Construir perfis para cada conjunto de padrões e especificações;
 - b) Aplicar perfis na etapa de projeto do sistema e em fases de teste;
 - c) Gerenciar perfis, evitando divergências entre eles, mantendo um controle de versões e comunicando atualizações a todas as partes interessadas.

3.5.2 Criação de Perfis

A partir da análise de um conjunto de *Use Cases*, a identificação da utilidade de criação de um perfil emerge da necessidade de se padronizar a interação entre um grupo de sistemas ou aplicativos. O documento resultante deve (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a):

¹⁷ *IOP Tool* acessível pelo endereço eletrônico:

ftp://ftp.cenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/SGCG_Interoperability_IO_Ptool.xlsx

- Identificar as trocas funcionais que precisam ser padronizadas;
- Considerar os requisitos informacionais para cada intercâmbio de informações; e
- Adaptar o modelo canônico de dados para que atenda a todos os requisitos.

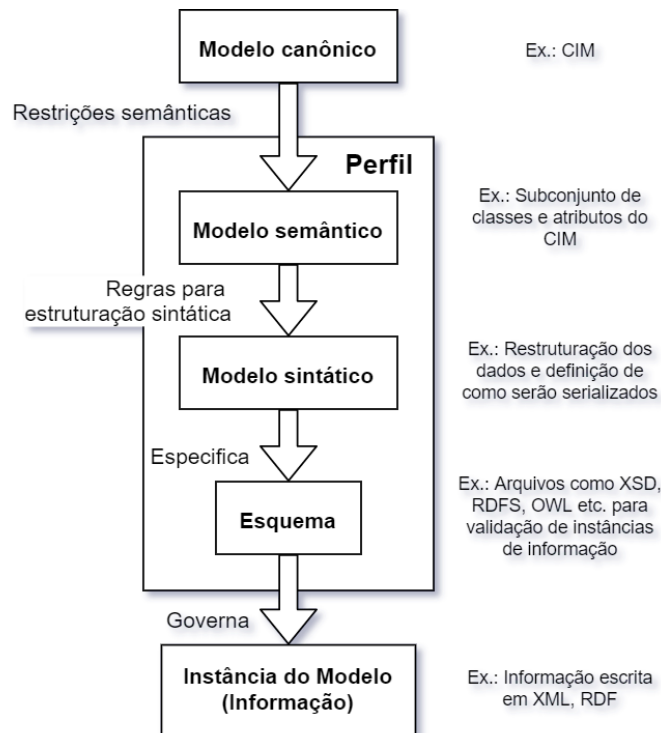
Perfis podem ser criados para qualquer uma das camadas de interoperabilidade, uma vez dada como necessária a especificação de um subconjunto limitado de opções dentro de uma norma. Dos tópicos que podem ser inclusos na documentação de um perfil (quando aplicáveis), estão:

- Nome do perfil;
- Requisitos, perímetro (escopo) e escalabilidade;
- Topologia da rede de comunicação;
- Lista de sistemas e de tecnologias;
- Especificações / normas / padrões;
- Segurança da Informação (Protocolos AAA);
- Parâmetros de Configurações;
- Abordagem das melhores práticas atuais.

Na perspectiva de padrões relacionados à Camada de Informação, por exemplo, um perfil deve fornecer toda a informação necessária para que um produtor de informação seja capaz de construir instâncias de um objeto, que um consumidor possa interpretar corretamente estas instâncias, e que um terceiro possa julgar a conformidade do objeto frente ao perfil. A definição de um perfil deste tipo requer a construção de dois modelos: um *modelo semântico*, que especifica a estrutura de elementos que capturam e organizam o conteúdo da informação, e um *modelo sintático*, que especifica como o modelo semântico deve ser serializado¹⁸ (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a, p. 24). A exemplo do CIM (*Common Information Model*), a Figura 15 mostra os processos de criação de um perfil e de instâncias de informação.

¹⁸ Serialização é o processo em que estruturas de dados ou o estado de objetos são traduzidos em um formato que possa ser armazenado, transmitido e posteriormente reconstruído (possivelmente em outro dispositivo) por meio de um processo inverso denominado desserialização. Fonte: (CLINE, 2020)

Figura 15 – Processo de criação de perfis de modelos de informação.



Fonte: Adaptado de (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a, fig. 11)

3.6 Common Information Model

Ao lidar com formatos e estruturas de dados, existe um compromisso natural entre os que são concebidos para serem pequenos e compactos e aqueles que são auto descritivos. Muitas vezes as estruturas de dados fixas carecem de extensibilidade, uma vez que a adição de novas funcionalidades pode quebrar a compatibilidade com versões anteriores e impedir que um *software* permaneça capaz de ler e tratar suas informações.

À medida que diferentes fabricantes optam pela adoção de formatos de dados criados especificamente para suas próprias aplicações, a otimização do uso de recursos é priorizada sob a penalidade de uma certa incompatibilidade entre bases de dados de diferentes companhias. Desse modo, transações mais complexas são requeridas quando se torna necessária a tradução de informação entre as interfaces de diferentes aplicações. Em cenários mais catastróficos, a necessidade de inúmeras conversões entre diversos formatos de dados proprietários pode fazer a integração de novas tecnologias inviável técnica e economicamente (MCMORRAN, 2015).

É nesse contexto em que a adoção de um formato único e bem detalhado, tal qual o *Common Information Model* (CIM), mostra sua importância. Aplicações usando este formato

como padrão poderiam conter todos os dados necessários sobre seu modelo, enquanto garantem a capacidade de adição de novos dados sem perda de validade da sua estrutura, provendo extensibilidade.

O CIM é um modelo semântico orientado a objeto e baseado em UML¹⁹ usado para padronizar a representação de dados e garantir a qualidade da interoperabilidade na comunicação de informações entre sistemas de diferentes companhias. A ontologia de domínio do CIM é extensa, fornecendo um vasto vocabulário que cobre a maior parte dos aspectos relacionados ao gerenciamento de sistemas elétricos (USLAR et al., 2012). Um exemplo é mostrado na Figura 16.

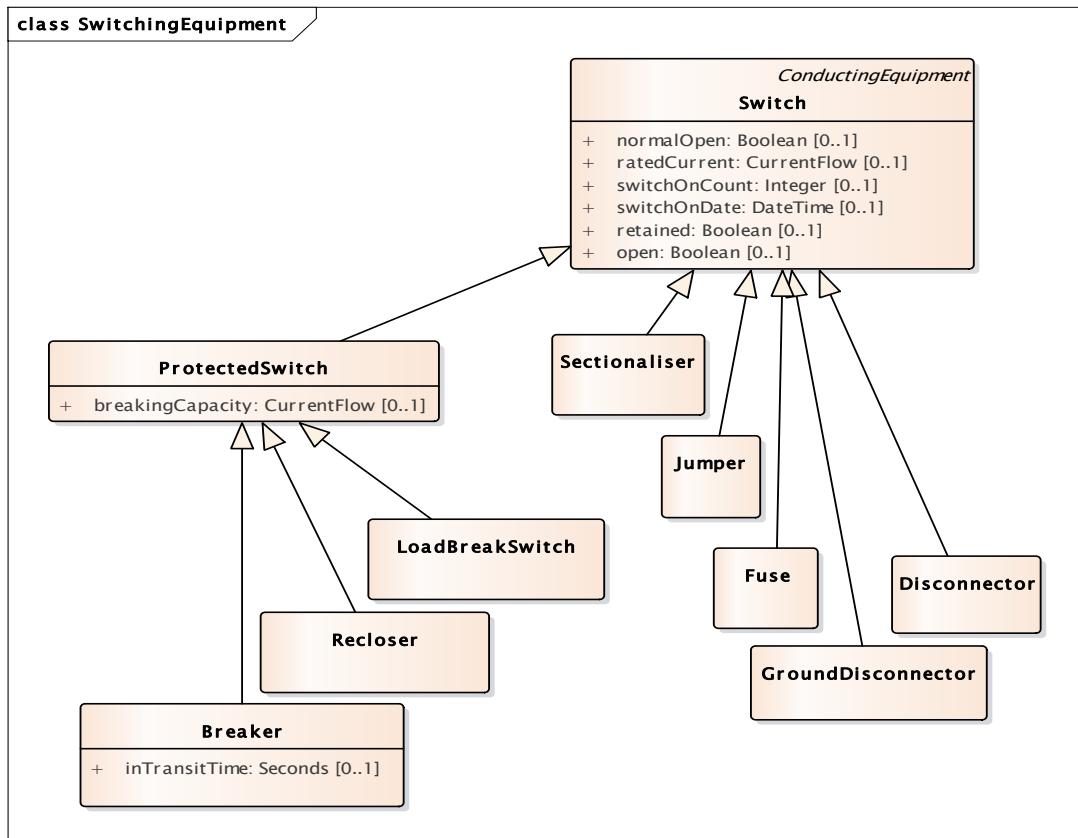
Entre as aplicações mais comuns do CIM estão (USLAR et al., 2012):

- **Modelos de topologia de rede:** perfis do CIM podem ser utilizados por operadores de sistemas elétricos para atender a requisitos quanto à criação e o intercâmbio de modelos de rede baseados em grafos, serializados em CIM RDF (uma especificação escrita em RDFS²⁰ para o CIM, definida na IEC 61970-501);
- **Integração de Sistemas:** Companhias individuais podem usar perfis contextualizados do CIM modelando mensagens e objetos de informação para garantir interoperabilidade semântica entre seus sistemas. Além disso, a série de normas IEC 61968 especifica perfis e interfaces padronizados que podem auxiliar na integração de dispositivos em sistemas de distribuição, sugerindo XML como linguagem de serialização (como exemplo, a IEC 61968-9 trata de interfaces para medição e medidores);
- **Comunicações de Mercado:** o CIM, por meio de sua parte IEC 62325-301, possui vocabulário que cobre atualmente processos e objetos de mercados de energia europeu e americano e pode ser usado (e, se necessário, adaptado) no intercâmbio de dados de operações mercadológicas.

¹⁹ Do ponto de vista de perfis, tratado na seção 3.5, o CIM UML pode ser visto como um perfil contextualizado do modelo de dados UML, igualmente composto por classes, atributos, relações, estereótipos, dentre outros.

²⁰ RDF *Schema*.

Figura 16 – Diagrama de classe *SwitchingEquipment* do pacote *IEC61970/Base/Wires*



Fonte: O próprio autor

O conteúdo que compõe o CIM é descrito dentro de três diferentes séries de normas: IEC 61968, IEC 61970 e IEC 62325. O modelo de dados base originalmente foi definido na IEC 62970-301, sendo estendido para gerenciamento de distribuição pela IEC 61968-11 e para comunicações de mercado na IEC 62325-301. Embora definidas em diferentes contextos, estas subpartes estão em constante desenvolvimento e harmonização pelos comitês técnicos responsáveis. Elas são denominadas:

- IEC 61970: *Energy management system application program interface (EMS-API)*
 - *Part 301: Common Information Model (CIM) Base*
- IEC 61968: *Application integration at electric utilities - System interfaces for distribution management*
 - *Part 11: Common Information Model (CIM)*
- IEC 62325: *Framework for energy market communications*
 - *Part 301: Common Information Model (CIM) Extensions for Markets*

Outros normas importantes orbitam o ambiente do CIM especificando interfaces, protocolos e mecanismos para o seu emprego. Entre as que possuem maior relevância para este trabalho estão:

- IEC 61970: *Energy management system application program interface (EMS-API)*
 - *Part 501: Common Information Model Resource Description Framework (CIM RDF) schema*
 - *Part 552: CIM XML Model exchange format*
- IEC 62325: *Framework for energy market communications*
 - *Part 450: Profile and Context Modeling Rules*
- IEC 62361: *Power systems management and associated information exchange – Interoperability in the long term*
 - *Part 100: CIM profiles to XML schema mapping*
- IEC 62351: *Power systems management and associated information exchange - Data and communications security*
 - *Part 11 (Draft): Security for XML Files*

3.6.1 CIM Profiling

CIM *profiles* são subconjuntos do CIM que incluem apenas classes, atributos e demais entidades necessárias para um cenário específico dentro de um projeto. Eles restringem as relações possíveis entre classes, multiplicidades, definem a presença ou ausência de certos atributos e se estes devem ser opcionais ou obrigatórios (USLAR et al., 2012).

Enquanto o desenvolvimento do CIM, por um lado, objetiva mantê-lo tão genérico e flexível quanto possível, a criação de perfis permite a definição de um modelo de informação específico para um dado caso de uso. Para um determinado objeto de informação que se queira testar, por exemplo, a realização de um teste de conformidade contra o conjunto completo de elementos do CIM, além de custosa (dadas as dimensões do CIM), poderia determinar somente se aquele objeto foi ou não modelado utilizando classes e atributos originais do CIM, o que não diz muito a respeito do contexto em que ele está sendo empregado, e portanto não auxilia muito no aumento de interoperabilidade entre as interfaces comunicantes. Um perfil baseado no CIM torna-se então necessário para especificar restrições adicionais a cada cenário de troca de informação entre atores.

Companhias podem optar pela adoção de perfis existentes já normatizados e/ou de ampla utilização ou criar os seus próprios, seja baseando-se em perfis existentes, seja derivando-os diretamente do CIM. Diversos padrões que lidam com perfis definidos em norma já são bem difundidos em certos domínios, como exemplo:

- **CDPSM** – *Common Distribution Power System Model*, descrito na IEC 61968-13, é usado para o intercâmbio de modelos de sistemas de potência de distribuição na Europa;
- **CGMES** – *Common Grid Model Exchange Standard*, descrito na IEC TS 61970-600-1 e IEC TS 61970-600-2, é amplamente usado no intercâmbio de modelos de sistemas de transmissão na Europa, sobretudo pela ENTSO-E;
- **CPSM** – *Common Power System Model*, descrito na IEC 61970-452, é adotado nos Estados Unidos para o intercâmbio de modelos de sistemas de transmissão;
- **ESM** – *European Style Market*, descrito na série IEC 62325-451, estabelece um modelo que agrega aspectos funcionais relacionados ao estilo europeu de mercados de eletricidade.

A Figura 15, utilizada anteriormente como exemplo para a demonstração da criação de um perfil genérico, trata especificamente do processo de criação de um perfil para modelos canônicos como o CIM.

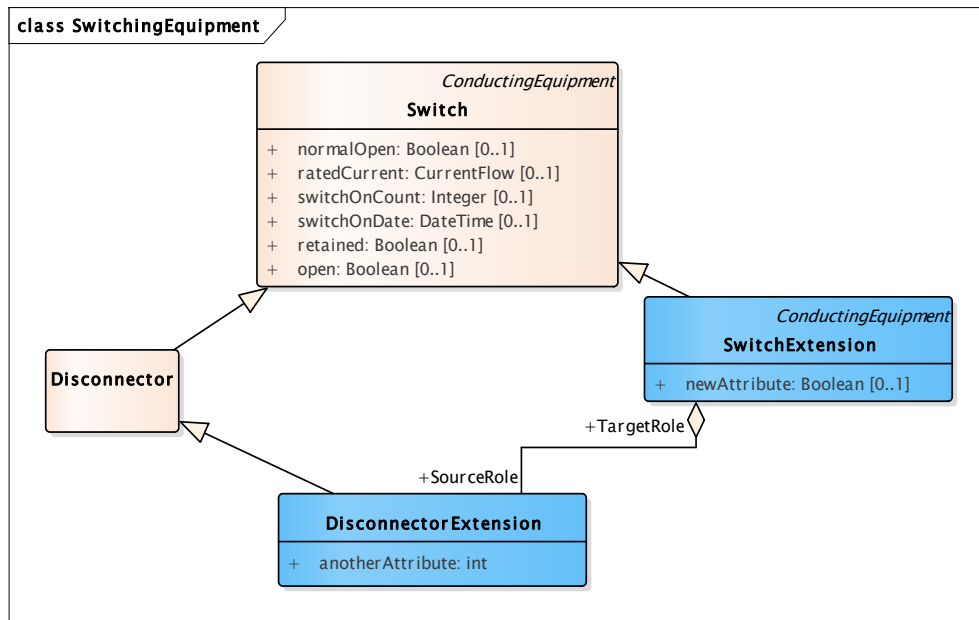
3.6.2 Extensões

É possível que em certos casos o extenso vocabulário do CIM ainda não seja suficiente para realizar alguns requisitos de projeto. Para isso, é preciso ampliar o modelo de dados original por meio de extensões. De maneira semelhante a que as duas partes IEC 61968-11 e 62325-301 estendem o modelo base do CIM (IEC 61970-301), um perfil, além de identificar classes, atributos e associações relevantes, pode incluir informações que não foram previstas originalmente na estrutura do CIM.

Uslar *et al.* (2012, p. 103) recomenda uma abordagem que busca causar o menor impacto possível no modelo original. Caso já existam classes que possam ser usadas como base (como no exemplo da Figura 17, em que as classes *Switch* e *Disconnecter* são originais do modelo canônico do CIM), estas podem ser estendidas por meio da criação de classes filhas (*SwitchExtension* e *DisconnecterExtension*), que herdam os atributos das primeiras mas

também podem apresentar novos. Além disso, se for preciso criar alguma relação entre classes que não exista por padrão no CIM, é possível fazê-la criando uma associação entre as novas classes filhas e definindo as multiplicidades entre elas. Num cenário menos favorável, uma classe nova e independente pode ser criada caso não haja alguma outra que possa servir como base.

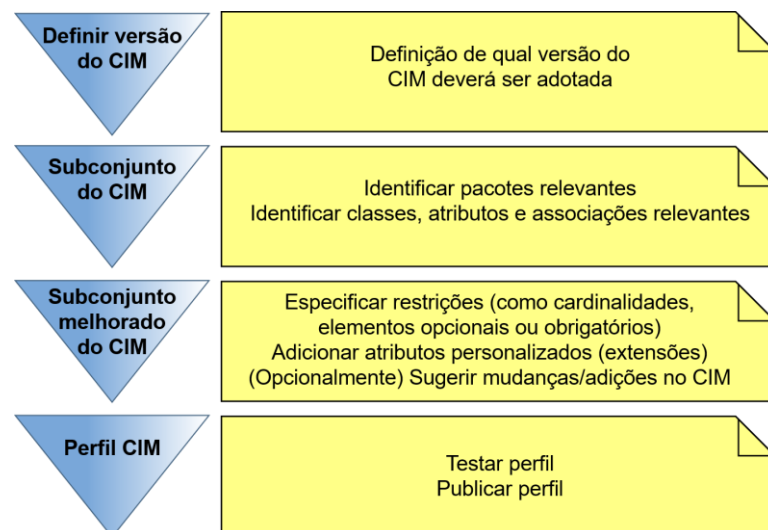
Figura 17 – Exemplo de extensão de duas classes do CIM



Fonte: O próprio autor

O mapa do processo para a criação de um perfil CIM, incluindo possíveis extensões ao modelo canônico padrão, é mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Processo completo de criação de um perfil CIM



Fonte: (USLAR et al., 2012, fig. 3.9)

3.6.3 *Serialização de Perfis e Objetos CIM*

A serialização consiste no processo de representar estruturas de dados abstratas ou estados de objetos em um formato que possa ser armazenado e/ou transmitido (CLINE, 2020). A serialização do CIM pode se referir tanto à serialização de um Modelo de Informação (um perfil CIM, também denominado ontologia) quanto a de um Objeto de Informação (instância de um modelo baseado no CIM que é efetivamente trocada ao curso de uma conversação).

A serialização de objetos de informação tem o claro propósito de permitir que um dado possa trafegar através de um canal de comunicação e estar disponível para o ator no outro terminal. Por outro lado, o interesse em serializar um perfil é fornecer uma maneira de especificar, detalhar e informar a estrutura de classes de objetos de informação a serem trocados. O documento resultante do processo, também chamado de artefato, contém informação suficiente para permitir a aplicativos manipularem qualquer instância do modelo. Em outras palavras, estes aplicativos podem lidar com qualquer objeto de informação pertencente àquela mesma família de objetos.

Posto desta maneira, o artefato pode ser visto como uma espécie de contrato entre dois terminais: ao ser estabelecido previamente, a estrutura semântica da interface entre dois sistemas é “congelada”, permitindo que a partir deste ponto os sistemas possam ser desenvolvidos e evoluídos independentemente, sem a preocupação de que se tornem incompatíveis ao longo do tempo em razão de, por exemplo, terem sido construídos por equipes distintas. Um contraexemplo que ilustra os sintomas da falta de um contrato bem definido é quando modificações em um sistema comprometem o bom funcionamento de outro; neste caso, é dito que os dois sistemas estão fortemente acoplados, o que prejudica a interoperabilidade a longo termo, quando evoluções entram em cena.

Em relação a perfis derivados do CIM, a IEC define dois padrões para a sua serialização, ambos em formato XML:

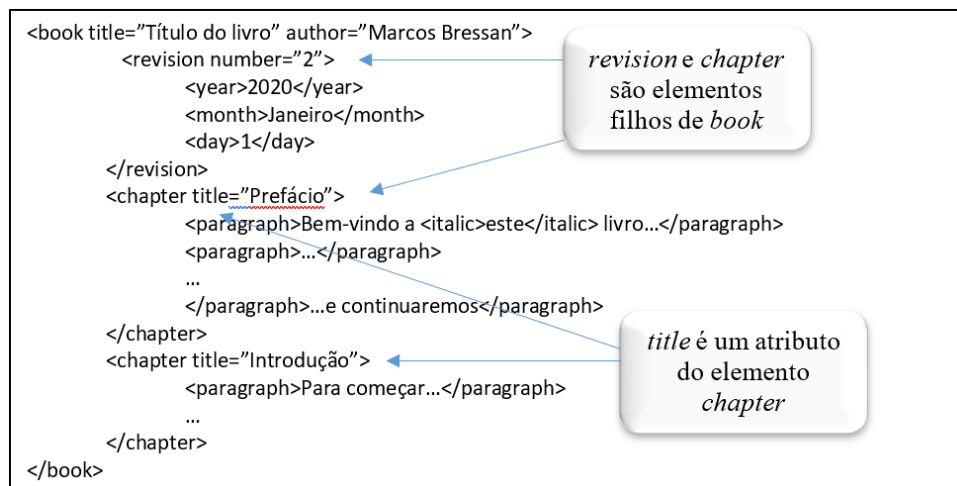
- RDF XML, destinado à transmissão em grande escala de dados, sendo usado principalmente na IEC 61970-552 para trocas de modelos de redes elétricas. A IEC 61970-501 é a norma que define as regras e convenções para a serialização do CIM em RDF formato XML;
- Mensagens baseadas em XSD, usadas principalmente para intercâmbio de informações entre componentes e aplicações de uma mesma companhia, geralmente

por meio de um *Enterprise Service Bus* (ESB), ou negociações de mercado entre companhias distintas. A IEC 62361-100 determina nomenclaturas e regras de *design* para o mapeamento de perfis CIM a esquemas XSD.

3.6.3.1 Extensible Markup Language

O XML (*eXtensible Markup Language*) é um formato universalmente aceito para documentos e dados estruturados. Subconjunto de regras simplificado do SGML (*Standard Generalized Markup Language*), a sintaxe XML herda as características de marcações auto descritivas, extensibilidade e validação (BOSAK; KHARE, 1997). Um exemplo de documento XML é mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Exemplo de documento XML



Fonte: O próprio autor

3.6.3.2 XML Schema

Um documento XML, embora contenha marcações auto descritivas, também chamadas *tags*, não fornece por si só regras de sintaxe ou conteúdo semântico. Documentos XSD (*XML Schema Definition*) podem ser então criados para declarar restrições na estrutura e conteúdo de um documento XML. Um *XML Schema* é uma gramática escrita em XML que descreve o formato de um outro documento ou família de documentos XML, o que inclui a definição de (W3C, 2015):

- Elementos e atributos que podem aparecer no elemento raiz do documento ou em elementos filhos;
- Multiplicidade dos elementos filhos permitidos para cada tipo de elemento;

- Se um elemento pode conter texto ou deve ser vazio;
- Tipos de dados para elementos e atributos;
- Se os textos dos elementos são fixos;
- Se os elementos possuem valores padrão.

Um documento XML é dito válido se ele está em conformidade com o esquema a que está associado. A Figura 20 mostra à esquerda um exemplo de documento XSD, determinando as regras de sintaxe para uma família de instâncias XML, das quais um exemplo é mostrado à direita.

Figura 20 – Exemplo de serialização em XML de um Modelo de Informação e um Objeto de Informação

<pre> <xsd:complexType name="GeneralOffer_MarketDocument_Type"> <xsd:sequence> <xsd:element name="mRID" type="dat:ID_String" minOccurs="1" maxOccurs="1"> </xsd:element> <xsd:element name="revisionNumber" type="dat:ESMPVersion_String" minOccurs="0" maxOccurs="1"> </xsd:element> <xsd:element name="type" type="dat:MessageKind_String" minOccurs="0" maxOccurs="1"> </xsd:element> <xsd:element name="createdDateTime" type="dat:ESMP_DateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1"> </xsd:element> <xsd:element name="status" type="dat:Action_Status" minOccurs="1" maxOccurs="1"> </xsd:element> <xsd:element name="Period" type="m:Time_Period" minOccurs="0" maxOccurs="1"> </xsd:element> <xsd:element name="Sender_MarketParticipant" type="m:MarketParticipant" minOccurs="0" maxOccurs="1"> </xsd:element> <xsd:element name="Receiver_MarketParticipant" type="m:MarketParticipant" minOccurs="0" maxOccurs="1"> </xsd:element> </xsd:sequence> </xsd:complexType> </pre>	<pre> <GeneralOffer_MarketDocument xmlns:xsi="http://www.w3.org/ 2001/XMLSchema-instance" xmlns="tdxassist.edf.rd.iop/ GeneralOffer_"> <mRID>43012P1006</mRID> <revisionNumber>1</revisionNumber> <type>General offer information</type> <createdDateTime>2016-11-02T16:06:42</createdDateTime> <status> <value xmlns="">In Validation</value> </status> <Period> <timeInterval> <start xmlns="">2018-01-01T18:00:00</start> <end xmlns="">2018-01-01T22:00:00</end> </timeInterval> </Period> <Sender_MarketParticipant> <mRID codingScheme="A01">Consumer</mRID> <name>name1</name> </Sender_MarketParticipant> <Receiver_MarketParticipant> <mRID codingScheme="A10">DSO Test</mRID> <name>name1</name> </Receiver_MarketParticipant> <TimeSeries> <mRID>mRID1</mRID> <Activation_Domain> </pre>
---	---

Fonte: O próprio autor

Na Figura 20, é possível notar no XSD a presença dos atributos `minOccurs` e `maxOccurs`, reservados para a definição das multiplicidades máximas e mínimas de cada elemento. Dentre os tipos primitivos de dados suportados em XSD, estão inteiros, pontos flutuantes, data e hora e cadeias de caracteres (strings). Cada tipo de dado suporta outras restrições que podem limitar o domínio de valores permitidos nos campos. Para inteiros, por exemplo, é possível declarar restrições de valor máximo e mínimo, já para dados do tipo `string` é possível definir uma expressão regular a ser seguida, ou ainda especificar uma lista contendo todos os valores textuais admissíveis (enumeração).

A representação da relação entre duas classes em XSD é hierárquica: uma classe CIM (representada no XSD por um `xsd:complexType`) pode conter um subelemento cujo tipo seja um *datatype* padrão do XSD ou uma outra classe CIM. No XML resultante, o elemento

referente à classe “que contém” aparece como pai do elemento referente à classe “contida”. Mais informações sobre este tema podem ser obtidas na especificação IEC 62361-100.

3.6.3.3 *Resource Description Framework*

Resource Document Framework (RDF) é uma linguagem recomendada pela W3C para representação de metadados direcionada à interpretação por computadores. O propósito do RDF é permitir a realização de declarações a respeito de recursos em formato de tupla sujeito-predicado-verbo.

Por exemplo, um recurso Trafo25 do tipo PowerTransformer possui sua propriedade `inService` cujo valor é `true`. Uma maneira (ainda não formal) de expressar esta declaração é apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Declaração de um novo recurso

```
<PowerTransformer rdf:ID="Trafo25">
  <inService>true</inService>
</PowerTransformer>
```

Fonte: O próprio autor

O atributo `rdf:ID`, padrão do vocabulário RDF, é utilizado para indicar o URI (*Uniform Resource Identifier*) do recurso a que se faz referência²¹. URIs podem ser absolutos (e.g. `http://example.com/`) ou relativos a uma base²² (e.g. `/path/res, #elem`). Entretanto, para que a declaração acima possua semântica, é preciso que o documento faça referência a um vocabulário que defina o significado dos termos `PowerTransformer` e `inService`. Para definir este novo vocabulário, deve-se empregar vocabulários já existentes, tal qual o vocabulário padrão do RDF (com URI `http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#` e geralmente atribuído ao prefixo `rdf`) e RDFS (`http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#`, prefixo `rdfs`), construindo assim um novo documento *RDF Schema* (Figura 22).

²¹ A partir deste parágrafo, estará implícito que elementos e atributos com prefixos *rdf*, *rdfs* e *owl* se tratam de espaços de nome referentes a vocabulários padrão em RDF.

²² A *base* de um documento XML é definida pelo atributo “*xml:base*”, geralmente pertencente ao elemento raiz *rdf:RDF* do documento XML.

Figura 22 – Declaração de novos tipos de objetos e propriedades

```

<rdfs:Class rdf:ID="PowerTransformer">
  <rdfs:label xml:lang="en">PowerTransformer</rdfs:label>
  <rdfs:comment>An electrical device...</rdfs:comment>
</rdfs:Class>
<rdfs:Class rdf:ID="Boolean">
  <rdfs:label xml:lang="en">Boolean</rdfs:label>
  <rdfs:comment>A type with the value space "true" and "false".</rdfs:comment>
</rdfs:Class>
<rdf:Property rdf:ID="PowerTransformer.inService">
  <rdfs:label xml:lang="en">inService</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#PowerTransformer" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean" />
  <rdfs:comment>If true, the equipment is in service.</rdfs:comment>
</rdf:Property>

```

Fonte: O próprio autor

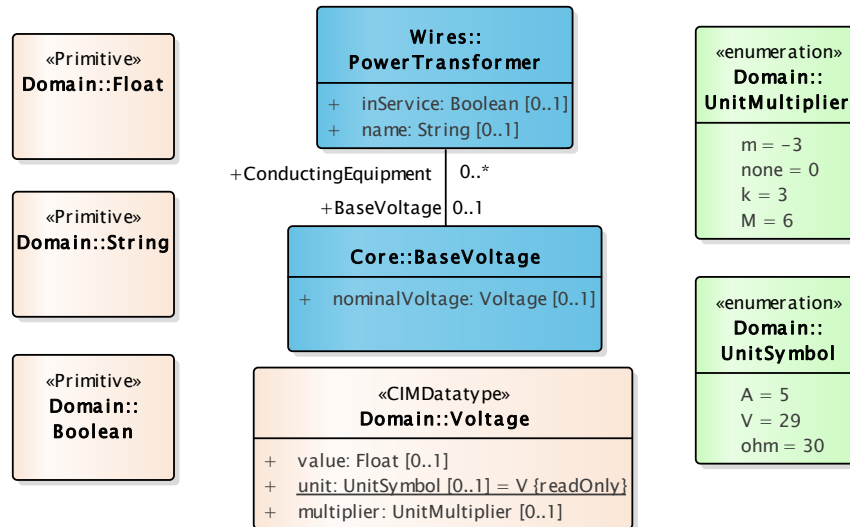
No exemplo, é declarado um novo recurso `PowerTransformer` do tipo `rdfs:Class` e um recurso `PowerTransformer.inService` do tipo `rdf:Property`. O elemento `rdfs:domain` identifica o recurso domínio a que a propriedade pertence, e `rdfs:range` identifica o recurso que determina o conjunto de valores esperados para ela. Neste caso, a propriedade `PowerTransformer.inService` tem como domínio a classe `PowerTransformer` (ou seja, somente recursos cuja classe é `PowerTransformer` podem possuir propriedades do tipo `PowerTransformer.inService`) e deve ser do tipo booleano (`true` ou `false`). A interpretação destas declarações em linguagem corrente é o equivalente a dizer que todo transformador pode possuir uma propriedade que indica se ele está em serviço ou não.

Para que seja possível a definição semântica de conceitos específicos ao contexto do CIM, a IEC 61970-501 se utiliza da linguagem RDF para a extensão do vocabulário padrão *RDF Schema*, que por si só já permite a representação de classes, atributos e relações, a fim de incluir demais conceitos trazidos da UML, como multiplicidades e estereótipos. Desta forma, é estabelecida uma ontologia base denominada CIM RDF. A linguagem RDF admite diversos formatos de serialização, porém o formato XML é o preferido pela IEC na concepção da norma IEC 61970-501.

Usando agora o vocabulário *CIM Schema* padronizado na IEC 61970-501, identificado pelo espaço de nomes (*namespace*) <http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#> e convencionalmente pelo prefixo `cims`, é possível construir por completo um vocabulário associado a um *CIM profile*, como o perfil simples mostrado na Figura 23. Dado

que o documento CIM RDF XML gerado é extenso para ser exibido por completo, somente um trecho dele é mostrado na Figura 24.

Figura 23 – Exemplo de modelo de informação derivado do CIM



Fonte: O próprio autor

Figura 24 – Trecho do documento CIM RDF XML gerado para a representação do modelo de informação da Figura 23

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<rdf:RDF xmlns:cims="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#"
xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
xml:base="{URI_do_perfil}" xmlns="{URI_do_perfil}">
...
<rdfs:Class rdf:ID="BaseVoltage">
...
</rdfs:Class>
...
<rdfs:Class rdf:ID="PowerTransformer">
...
</rdfs:Class>
...
<rdf:Property rdf:ID="BaseVoltage.nominalVoltage">
  <rdfs:label xml:lang="en">nominalVoltage</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#BaseVoltage" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Voltage" />
  <rdfs:comment>The power system resource's base voltage.</rdfs:comment>
</rdf:Property>
...
<rdf:Property rdf:ID="PowerTransformer.inService">
  <rdfs:label xml:lang="en">inService</rdfs:label>
  <rdfs:domain rdf:resource="#PowerTransformer" />
  <rdfs:range rdf:resource="#Boolean" />
  <rdfs:comment>If true, the equipment is in service.</rdfs:comment>
</rdf:Property>
</rdf:RDF>
```

Fonte: O próprio autor

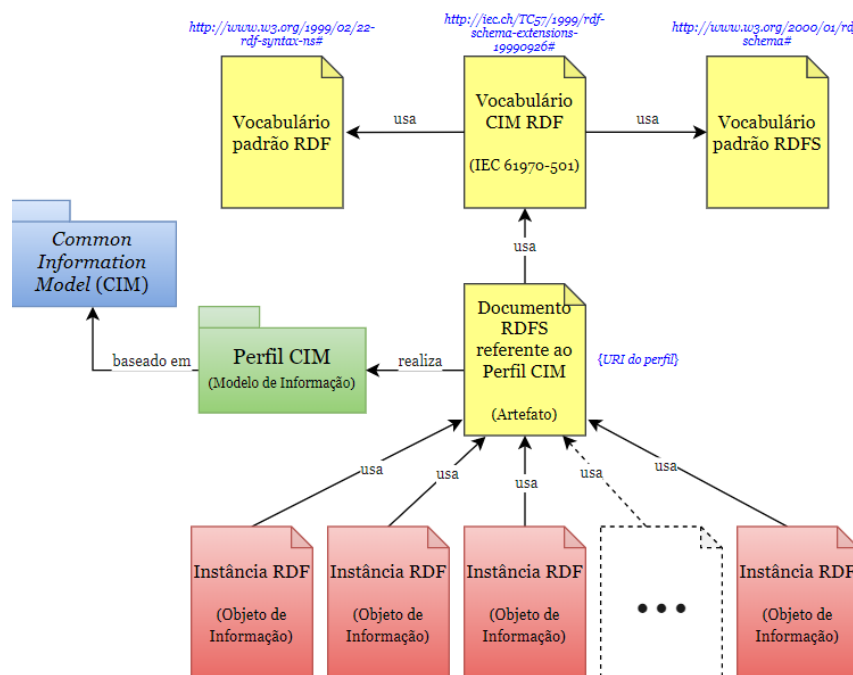
Um exemplo real de declaração de um novo recurso aplicando o vocabulário da Figura 24 é parcialmente ilustrado na Figura 25. O mapa simplificado da cadeia de referências para a criação de um novo vocabulário baseado em um perfil CIM é mostrado na Figura 26. Instâncias de documentos RDF podem definir novos objetos de informação utilizando um ou mais vocabulários existentes.

Figura 25 – Trecho de objeto de informação gerado para o modelo da Figura 24

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<rdf:RDF xmlns:cims="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#"
xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
xml:base="{URI_do_perfil}"
xmlns="{URI_do_perfil}"
xmlns:smad="{URI_do_perfil}">
...
<smad:BaseVoltage rdf:ID="#basevoltage_01">
  <smad:BaseVoltage.nominalVoltage rdf:resource="#base" />
</smad:BaseVoltage>
...
<smad:PowerTransformer rdf:ID="#Trafo25">
  <smad:PowerTransformer.name>Transformador 25</smad:PowerTransformer.name>
  <smad:PowerTransformer.inService>true</smad:PowerTransformer.inService>
  <smad:PowerTransformer.BaseVoltage rdf:resource="#basevoltage_01" />
</smad:PowerTransformer>
</rdf:RDF>
```

Fonte: O próprio autor

Figura 26 – Mapa simplificado dos documentos e modelos relacionados a um perfil CIM em RDF



Fonte: O próprio autor

3.6.3.4 Comparação

Embora tenham o mesmo propósito no contexto aqui aplicado, existem diferenças significativas nas motivações que levam à serialização dos perfis em *XML Schema* ou *RDF Schema*. Um quadro comparativo é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Quadro comparativo entre artefatos CIM XSD e CIM RDFS

	XSD (XML Schema)	RDFS (RDF Schema)
Extensão do arquivo	.xsd	.rdf, .xml
Tamanho do documento	Menor.	Muito maior.
Organização dos elementos	Árvore de elementos e subelementos (hierarquia).	Recursos podem ter qualquer relação entre si.
Nível de semântica transmitida	Menor (interpretação das <i>tags</i> depende mais da intervenção humana).	Maior (recursos são definidos a partir de vocabulários semânticos).
Flexibilidade de definição dos campos	Elementos, subelementos e atributos devem ser todos definidos num mesmo bloco.	Recursos e suas propriedades podem ser definidos em qualquer ordem, possibilitando a criação de extensões a elementos já existentes.
Linguagem de consulta padrão (W3C)	XPath/XQuery.	SPARQL.
Suporte a evoluções	Mudanças na estrutura (ordem, inserção etc.) geralmente afetam o bom funcionamento da aplicação.	Flexível em relação a mudanças na estrutura.
Facilidade de criação e manipulação de documentos	Simples – com um simples interpretador XML já é possível criar e ler documentos.	Complexa – demanda o uso de bibliotecas para tratamento de linguagem RDF.
Validação de instâncias	Simples – qualquer validador XSD permite rapidamente validar instâncias XML junto ao respectivo esquema.	Complexa – demanda o uso de bibliotecas que apliquem as regras semânticas da IEC 61970-552 (como as restrições UML).
Aplicações mais comuns (CIM)	Mensagens de propósito geral trocadas entre aplicações.	Representação de redes elétricas.

Fonte: (BERNERS-LEE, 1998; MANOLA; MILLER, 2004; USLAR et al., 2012)

3.7 FIPA

A *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA) é uma organização internacional não lucrativa para a padronização de sistemas baseados em agentes. Atualmente parte integrante de um dos comitês da *IEEE Computer Society*, as especificações FIPA, listadas na Tabela 9,

tratam de diversos aspectos relacionados à interoperação, ciclo de vida, plataforma, serviços e comunicação de agentes (IEEE, 2012).

Tabela 9 – Lista de especificações FIPA

Identificador	Título
SC00001	<i>FIPA Abstract Architecture Specification</i>
SC00008	<i>FIPA SL Content Language Specification</i>
SI00014	<i>FIPA Nomadic Application Support Specification</i>
SC00023	<i>FIPA Agent Management Specification</i>
SC00026	<i>FIPA Request Interaction Protocol Specification</i>
SC00027	<i>FIPA Query Interaction Protocol Specification</i>
SC00028	<i>FIPA Request When Interaction Protocol Specification</i>
SC00029	<i>FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification</i>
SC00030	<i>FIPA Iterated Contract Net Interaction Protocol Specification</i>
SC00033	<i>FIPA Brokering Interaction Protocol Specification</i>
SC00034	<i>FIPA Recruiting Interaction Protocol Specification</i>
SC00035	<i>FIPA Subscribe Interaction Protocol Specification</i>
SC00036	<i>FIPA Propose Interaction Protocol Specification</i>
SC00037	<i>FIPA Communicative Act Library Specification</i>
SC00061	<i>FIPA ACL Message Structure Specification</i>
SC00067	<i>FIPA Agent Message Transport Service Specification</i>
SC00069	<i>FIPA ACL Message Representation in Bit-Efficient Specification</i>
SC00070	<i>FIPA ACL Message Representation in String Specification</i>
SC00071	<i>FIPA ACL Message Representation in XML Specification</i>
SC00075	<i>FIPA Agent Message Transport Protocol for IIOP Specification</i>
SC00084	<i>FIPA Agent Message Transport Protocol for HTTP Specification</i>
SC00085	<i>FIPA Agent Message Transport Envelope Representation in XML Specification</i>
SC00088	<i>FIPA Agent Message Transport Envelope Representation in Bit Efficient Specification</i>
SI00091	<i>FIPA Device Ontology Specification</i>
SC00094	<i>FIPA Quality of Service Specification</i>
SC00097	<i>FIPA Design Process Documentation Template</i>

Fonte: Website oficial FIPA (IEEE, 2012)

3.7.1 Mensagens ACL

A forma de comunicação entre agentes FIPA se dá por meio de mensagens FIPA ACL (*Agent Communication Language*). A especificação FIPA00061 (FIPA, 2002a) detalha os parâmetros que uma mensagem ACL pode ou deve conter para que a comunicação entre dois agentes seja efetivamente realizada (ver Tabela 10). O ato comunicativo, indicado no parâmetro obrigatório performative, representa a ação que a mensagem expressa, podendo ser de natureza diversa, como request, agree, cancel, dentre outros. A lista completa de especificações dos atos comunicativos pode ser consultada em FIPA00037 (FIPA, 2001).

Tabela 10 – Parâmetros de mensagens FIPA ACL

Parâmetro	Categoria de parâmetros
<code>performative</code>	Tipo de ato comunicativo (<code>request</code> , <code>subscribe</code> , <code>refuse</code> etc)
<code>sender</code>	Identifica o agente remetente da mensagem
<code>receiver</code>	Identifica o agente destinatário da mensagem
<code>reply-to</code>	Quando presente, indica para o agente receptor o agente para quem as mensagens subsequentes da conversação devem ser encaminhadas, em vez de serem enviadas ao agente remetente
<code>content</code>	Apresenta o conteúdo da mensagem, ou seja, o objeto da ação
<code>language</code>	Descreve a linguagem em que o conteúdo da mensagem é escrito
<code>encoding</code>	Especifica a codificação de caracteres do conteúdo
<code>ontology</code>	Descreve a ontologia que dá semântica ao conteúdo da mensagem
<code>protocol</code>	Denota o protocolo de interação (ver 0) sob o qual a troca da mensagem ocorre
<code>conversation-id</code>	Valor utilizado para identificar um conjunto de mensagens correspondentes a uma mesma conversação
<code>reply-with</code>	Apresenta na mensagem de envio uma expressão que deve ser inserida no campo <code>in-reply-to</code> da mensagem de resposta correspondente
<code>in-reply-to</code>	Denota a expressão anteriormente utilizada no campo <code>reply-with</code> da mensagem de envio para a qual a mensagem atual é uma resposta
<code>reply-by</code>	Representa o tempo ou data máxima até a qual o agente remetente deseja receber uma resposta

Fonte: (FIPA, 2002a, seq. 2)

Atualmente o conjunto de especificações FIPA determina três tipos de representação para as mensagens ACL trocadas entre atores: *string* ou textual (FIPA, 2002b), XML (FIPA, 2002c) e codificação binária eficiente (FIPA, 2002d).

3.7.2 Protocolos de Interação

Geralmente a troca de mensagens entre agentes se dá num contexto cujo protocolo de interação é bem definido, como por exemplo, sob padrão de comunicação cliente-servidor, editor-assinante, dentre outros. A série de especificações FIPA compreende também a padronização de protocolos específicos para a comunicação entre agentes. Um protocolo de interação indica uma série bem definida de trocas de mensagens realizadas entre dois ou mais agentes.

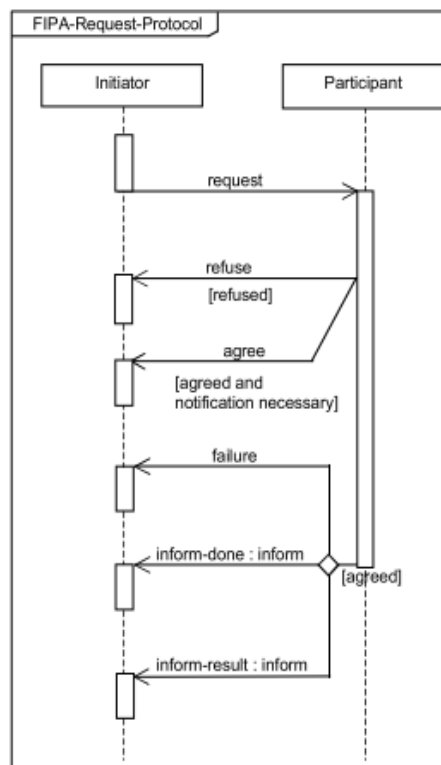
O agente que inicia a interação é chamado *iniciador* e aquele com quem interage é chamado agente *participante*. Em qualquer dos protocolos de interação, o agente iniciador é o responsável por atribuir uma `conversation-id` inicial, um código de identificação que permite a ambos os agentes reconhecerem a que instância de conversação pertence cada mensagem

recebida. Isto possibilita que diversas conversas estejam em andamento simultaneamente entre estes e outros agentes. Os protocolos de interação mais comuns e relevantes à comunicação no contexto de REIs são descritos a seguir.

3.7.2.1 *FIPA Request*

O protocolo de interação *FIPA Request* é descrito na especificação FIPA00026 (FIPA, 2013). Trata-se de uma sequência particular de trocas de mensagens, ilustrada na Figura 27, utilizada quando o agente iniciador deseja solicitar que o agente participante execute alguma ação, por exemplo, retornar algum dado ou modificar algum estado. A princípio, o primeiro envia uma mensagem ACL com campo protocolo indicando *fipa-request* e performativa *request*. O participante pode a seguir se recusar (*refuse*) ou aceitar (*agree*) realizar a ação, enviando uma mensagem de resposta com a respectiva performativa. Caso tenha concordado em realizar, ele deve informar quando houver sucesso (*inform*) ou falha (*failure*) na execução da solicitação. Em cenários em que a ação pode ser executada rapidamente, o agente participante pode preferir não encaminhar uma mensagem *agree* e responder imediatamente com o resultado da ação.

Figura 27 – Diagrama de sequência do protocolo de interação *FIPA Request*

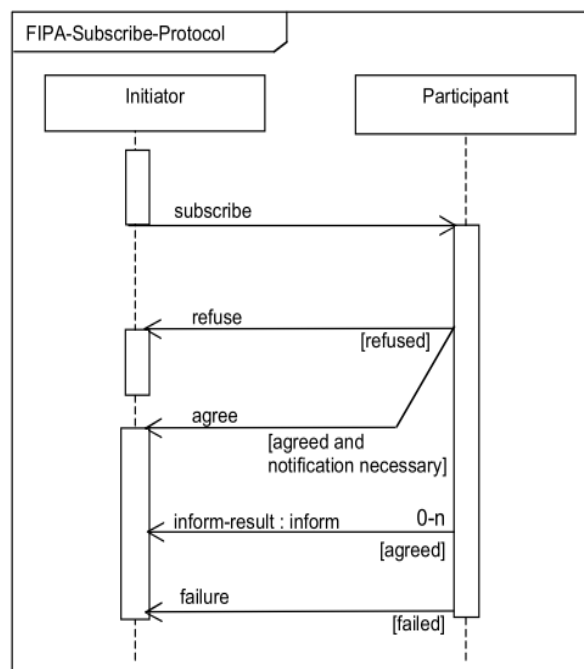


Fonte: FIPA00026 (FIPA, 2013, fig. 1)

3.7.2.2 FIPA Subscribe

O protocolo de interação *FIPA Subscribe* é descrito na especificação FIPA00035 (FIPA, 2002e). É inspirado no padrão de entrega de mensagens editor-assinante, porém sem a presença de barramentos de eventos ou *message brokers*, como mostrado na Figura 28. Neste cenário, o agente iniciador, atuando no papel de assinante, envia uma mensagem ACL com campo protocolo indicando *fipa-subscribe* e performativa *subscribe*. O agente participante (editor) pode a seguir recusar (*refuse*) ou aceitar (*agree*) o pedido de subscrição, enviando uma mensagem de resposta com a respectiva performativa. Em caso de acordo, o assinante passa a receber as mensagens *inform* que o editor publicar. Se houver falhas, o editor deve encaminhar uma mensagem *failure*, o que interrompe a prossecução da interação.

Figura 28 – Diagrama de sequência do protocolo de interação *FIPA Subscribe*



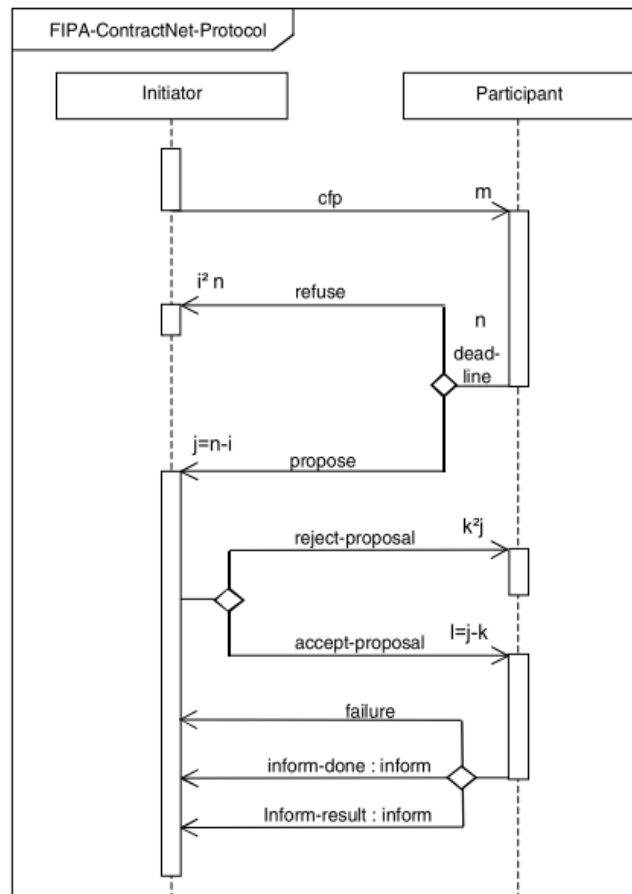
Fonte: FIPA00026 (FIPA, 2002e, fig. 1)

3.7.2.3 FIPA Contract Net

O protocolo de interação *FIPA Contract Net* é descrito na especificação FIPA00029 (FIPA, 2002f). Trata-se de um padrão de comunicação em que o agente iniciador, também chamado gerente, solicita que alguma tarefa seja realizada por um ou mais agentes participantes (ou contratantes), como mostrado na Figura 29. Para isso, ele envia mensagens ACL com campo protocolo indicando *fipa-contract-net* e performativa *cfp* (*call for proposals*) para

um ou mais participantes. Cada participante pode recusar (refuse) ou propor (propose) a realização da tarefa (ou parte dela). Para cada proposta recebida, o agente iniciador pode aceitá-la (accept-proposal) ou recusá-la (reject-proposal), enviando a mensagem correspondente ao participante remetente. Os contratantes que tiveram suas propostas aceitas devem, após a execução da tarefa, responder com uma mensagem de falha (failure) ou um informe de sucesso da ação (inform).

Figura 29 – Diagrama de sequência do protocolo de interação *FIPA Contract Net*



Fonte: FIPA00029 (FIPA, 2002f, fig. 1)

3.8 Testes

Embora a abordagem de metodologias para a fase de teste não faça parte do escopo deste trabalho, é importante mencionar as principais recomendações existentes no domínio de REIs para nortear trabalhos futuros.

O propósito da etapa de testes é verificar e validar o conceito, os componentes e a arquitetura da solução implementada em relação ao conjunto de requisitos e perfis identificados

(CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a). O modelo de testes tratado pelo SG-CG é inspirado no relatório nº3 do ETSI *Achieving Technical Interoperability* (VAN DER VEER; WILES, 2008, p. 19). Neste modelo, dois tipos de testes são apresentados: conformidade e interoperabilidade.

3.8.1 Teste de Conformidade

Testes de conformidade determinam se a implementação da solução está conforme aos perfis (normas e especificações) que foram tomados como base, a fim de garantir que o projeto implementado corresponda à sua especificação.

O teste é geralmente realizado com a ajuda de uma ferramenta de testes dedicada. Componentes são submetidos à prova considerando diversos cenários e com base em critérios de qualidade pré-estabelecidos. Um processo típico de teste de conformidade segue os seguintes passos:

- Identificação das implementações candidatas a serem submetidas aos testes, ou *Implementations Under Test* (IUT). O dispositivo em que são implementadas é referido como *System Under Test* (SUT);
- Identificação das menores unidades individuais de interface das implementações candidatas, denominadas *Reference Points* (RP);
- Desenvolvimento das especificações do teste de conformidade, geralmente utilizando uma linguagem de testes como a TTCN-3 (*Testing and Test Control Notation Version 3*), que segue as especificações da ISO/IEC 9646 (*Open Systems Interconnection: Conformance testing methodology and framework*). Diversos padrões, como a IEC 61850, já são fornecidos por meio de documentos contendo declarações de conformidade de implementação, ou *Implementation Conformance Statements* (ICS).

3.8.2 Teste de Interoperabilidade

Testes de interoperabilidade determinam se, junto à conexão entre duas ou mais implementações (interface), estas podem se comunicar de maneira interoperável. Embora dois ou mais sistemas possam ser construídos em conformidade com um mesmo padrão, o que os permite passar nos testes de conformidade, é possível que tenham sido concebidos utilizando

perfis conflitantes entre si, devido a diferentes opções, interpretações ou especificações existentes dentro de um mesmo padrão. Testes de interoperabilidade visam garantir que tais sistemas são capazes de desempenhar suas funções adequadamente em conjunto e de que suas interfaces não apresentam falhas (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a).

O procedimento comum para testes de interoperabilidade inclui:

- Identificação dos equipamentos a serem submetidos a testes, ou *Equipment Under Test* (EUT). Tratam-se das implementações físicas que devem interagir com outros EUTs através de um ou mais RPs;
- Identificação de cenários de teste, que se encarregam de demonstrar um subconjunto das funcionalidades presentes nos *Use Cases* que os EUTs implementam;
- Definição de uma cama de testes, com a descrição de todos os componentes lógicos, suas interfaces e conexões envolvidos no teste;
- Identificação das interfaces da cama de testes, classificadas em:
 - *Dados*: interfaces pelas quais dados são trocados, podendo ser do tipo Estimulação, Monitoramento e Rastreamento;
 - *Controle*: usado para configurar e controlar o EUT ou demais componentes na cama de teste;
 - *Operador de teste*: interface para comando da cama de testes em si, como para selecionar o teste a ser executado, configurar os diferentes componentes envolvidos e analisar os resultados obtidos no teste.
- Desenvolvimento das especificações do teste de interoperabilidade. Diversos padrões já são fornecidos por meio de documentos contendo declarações de funcionamento interoperável, ou *Interoperable Function Statements* (IFS).

3.8.3 Testes para IEC 61850

A parte 5 da série IEC 61850 padroniza a comunicação entre IEDs e define os requisitos de sistemas que devem ser suportados. Uma vez que o objetivo da série reside na interoperabilidade entre funções de IEDs de diferentes fabricantes, a conformidade com o padrão já indica que a interoperabilidade é provada (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a, p. 51). Neste caso, a especificação dos testes de conformidade deve descrever quais testes devem ser aplicados a um dispositivo de forma a atestar se a função de comunicação é corretamente executada com um dispositivo complementar ou, de forma mais geral, com o resto do sistema.

Por vezes, para serem testados, alguns cenários requerem o emprego de simuladores para representar o contexto do sistema e a rede de comunicação.

A IEC 61850-10, por sua vez, especifica técnicas para testes de conformidade de cliente, servidor e dispositivos de *sampled values*, além de ferramentas de engenharia. Ademais, esta parte da norma especifica também as medições a serem tomadas como referência na condução de testes de componentes que implementam a série.

3.9 Considerações Finais

Conforme visto, *Use Cases* são uma forma de descrição das funcionalidades do sistema que promove o diálogo transparente entre diversas partes interessadas, servindo também como ponte para a identificação de requisitos funcionais e não funcionais. Com o SGAM, os *Use Cases* podem então ser mapeados a uma arquitetura concreta que corresponda aos requisitos levantados, com a vantagem de preservação dos moldes para a construção de sistemas em diferentes projetos no que concerne a perspectiva de três eixos: domínios, zonas e camadas de interoperabilidade.

Normas e padrões devem então ser selecionados e suas opções devem ser especificadas, compondo perfis distintos para cada contexto de comunicação. No que tange à modelagem de objetos de informação no contexto de sistemas de potência, o modelo semântico do CIM pode ser utilizado como base para o desenvolvimento de perfis.

Como via de implementação de sistemas distribuídos, as especificações FIPA podem ser adotadas para a construção de uma arquitetura orientada a agentes. Entre si, agentes FIPA trocam objetos encapsulados em mensagens ACL, entretanto estes agentes podem empregar outros protocolos para estabelecimento de comunicação com outros atores não compatíveis com o FIPA.

Seguindo estas indicações, sistemas distintos desenvolvidos por equipes independentes podem se comunicar de forma interoperável, desde que suas implementações estejam em conformidade com os mesmos perfis. Para isso, é importante que as implementações sejam devidamente submetidas a testes de conformidade e interoperabilidade a fim de validar o seu bom comportamento sob condições diversas.

4 FERRAMENTAS PARA A APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS APRESENTADAS

4.1 Introdução

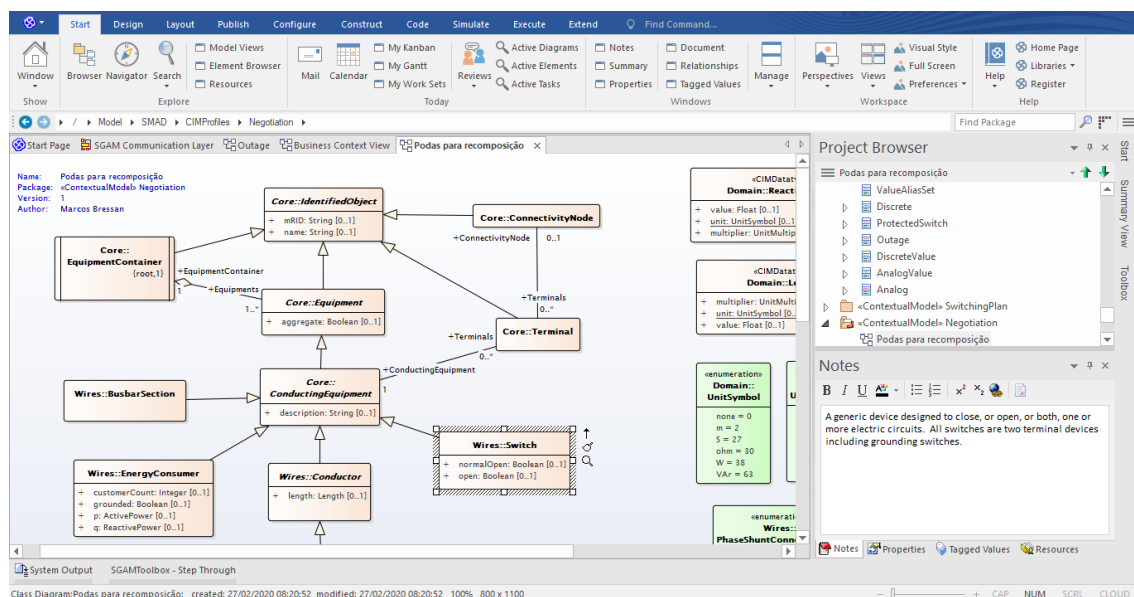
Neste capítulo são apresentadas algumas das ferramentas que podem ser aplicadas ao longo do ciclo de desenvolvimento de sistemas REI, compreendendo desde partes relativas ao gerenciamento e documentação do projeto quanto à modelagem de componentes e bibliotecas úteis para realização da implementação. Estas mesmas ferramentas são utilizadas no Capítulo 5 para a aplicação das metodologias tratadas. Evidentemente, ferramentas alternativas podem ser aplicadas quando necessário.

4.2 Ferramentas

4.2.1 Enterprise Architect

Enterprise Architect é um *software* para modelagem, *design*, teste e manutenção de projetos, *softwares*, arquiteturas e sistemas. Desenvolvido pela *Sparx Systems*, este programa fornece formas intuitivas para visualizar, criar e manipular diagramas UML (tais como classes, atividades, sequências, *use cases* e outros), bem como gerar documentações em diferentes formatos. Um exemplo de projeto e seus pacotes é mostrado na Figura 30, ilustrando o diagrama de classes referente ao modelo de informação *Negotiation* (revisitado no tópico 5.6.1 deste trabalho).

Figura 30 – Exemplo de um projeto *Enterprise Architect*



Fonte: O próprio autor

Enterprise Architect é o principal *software* usado para a representação do pacote oficial do CIM²³, que é organizado e especificado por um conjunto de diagramas dentro de um ficheiro com extensão EAP (*Enterprise Architect Project*). Outro propósito para o uso do programa é a existência de diversos *add-ons* que estendem as suas funcionalidades, fornecendo suporte aos seguintes processos:

- Modelagem gráfica de *Use Cases* e geração de documentação em formatos XML, HTML ou *Word*, respeitando as determinações da série IEC 62559, com o auxílio do *add-on Modsarus Use Cases*;
- Modelagem e documentação do *design* e arquitetura de sistemas REI sob a perspectiva de domínios, zonas hierárquicas e camadas de interoperabilidade do SGAM, com o *add-on SGAM Toolbox*;
- Modelagem de objetos de informação a partir de um modelo canônico de informação e geração de artefatos em formato XSD, seguindo as determinações da IEC 62361-100, com a ajuda do *add-on Modsarus Data Flow*;
- Modelagem de objetos de informação a partir de um modelo canônico de informação e geração de artefatos em formato RDF seguindo as determinações da IEC 61970-501 (CIM RDF), com a ajuda do *add-on CIM EA*.

4.2.1.1 *Modsarus*

Modsarus (MODelling Smart Grid Architecture Unified Solution) (SPARX SYSTEMS, [s.d.]) é uma ferramenta gratuita desenvolvida por *EDF Lab* para modelagem de trocas interoperáveis de informação para *Use Cases* destinados a sistemas de potência. Ele consiste numa solução baseada em modelagem UML para suportar padrões IEC relacionados à metodologia *Use Cases* (IEC 62559-2 e IEC 62913-1) e desenvolvimento de perfis baseado no padrão CIM (IEC 61970-301, IEC 61968-11 e IEC 62325-301). Trata-se de um *add-on* para *Enterprise Architect* composto de duas funcionalidades principais: *Modsarus Use Cases* e *Modsarus Data Flow*.

²³ Versões do CIM disponíveis para *download* em arquivos com a extensão .EAP podem ser encontradas em <https://cimug.ucaiug.org/WG13>, no diretório *Part 301: CIM Base*.

Como parte da solução proposta neste trabalho, *Modsarus Use Cases* é usado na concepção e documentação dos *Business Use Cases* (BUCs) e *System Use Cases* (SUCs), bem como na descrição de: atores e sistemas envolvidos; cenários existentes; fluxos de atividade pertencentes a estes cenários; e objetos de informação trocados entre os atores e sistemas. Estes objetos, por sua vez, são diretamente relacionados com os perfis CIM criados com a ferramenta *Modsarus Data Flow*. Modelos de informação de cada informação trocada são derivados do modelo semântico CIM por meio desta ferramenta.

Modsarus Use Cases permite geração de documentação de um projeto seguindo o modelo da IEC 62559-2. Os formatos possíveis são XML (útil para transmissão entre computadores, armazenamento de *Use Cases* em um repositório ou leitura por máquinas), HTML (conveniente para a visualização e exibição em tela) e *Word* (versão para impressão ou documentação escrita para arquivamento). Já *Modsarus Data Flow* possibilita a geração de artefatos XSD (*XML Schema Definition*) referentes a um modelo de informação seguindo as especificações da IEC 62361-100. Após gerados, os artefatos XSD podem ser utilizados por programas de computador para validação dos objetos XML trocados entre aplicações ou mesmo para construção guiada de interfaces de aplicações em ambientes de desenvolvimento que fornecem este suporte.

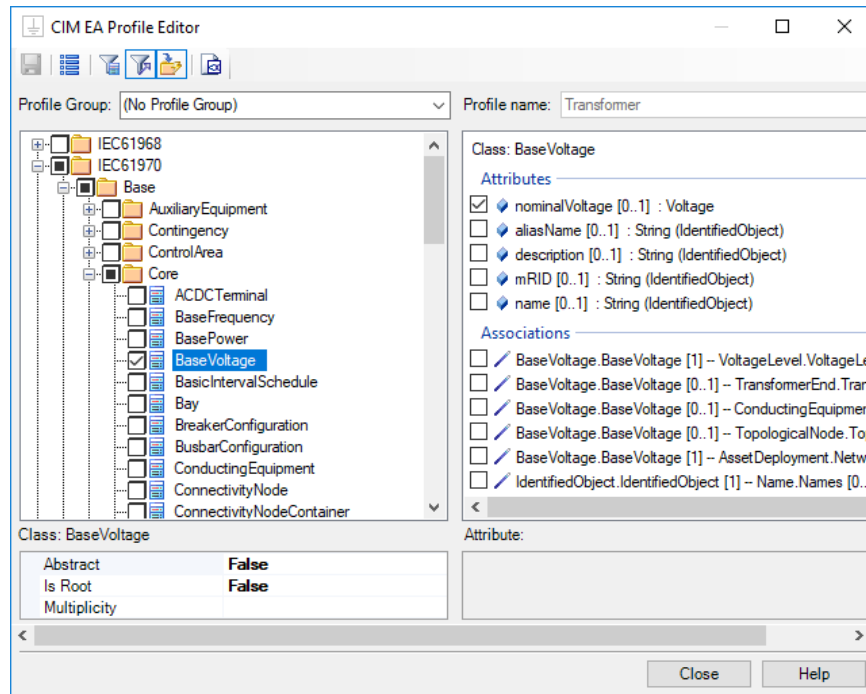
4.2.1.2 CIM EA

CIM EA (SPARX SYSTEMS, [s.d.]) é uma ferramenta gratuita semelhante a *Modsarus Data Flow* que permite a geração de artefatos RDF (*Resource Description Format*) seguindo o padrão CIM RDF (IEC 61970-501). RDF é uma linguagem que possibilita a descrição de uma gama de recursos (objetos) relacionados a um mesmo domínio. CIM RDF trata-se de um vocabulário de termos base em RDFS destinado à descrição de objetos no contexto de sistemas de potência, como equipamentos e topologia de uma rede elétrica. Uma vez que o CIM é baseado em diagramas e modelos de classes da UML, o vocabulário define também termos herdados da linguagem, como os nomes de associações entre classes de objetos (*role names* e *inverse role names*), as multiplicidades destas associações, os estereótipos de classe, dentre outras regras.

Com *CIM EA*, é possível num primeiro momento construir um perfil CIM derivado do pacote original do CIM (Figura 31). Este perfil serve como referência para a criação de um vocabulário de termos identificados pelas classes, atributos e relações contidas no perfil. Para

a concretização deste vocabulário, *CIM EA* pode gerar um ficheiro RDF (ou artefato), que por sua vez emprega termos referentes ao vocabulário CIM RDF. Após gerados, os artefatos RDF podem ser utilizados por programas de computador para validação dos objetos RDF trocados entre aplicações ou mesmo para construção guiada de interfaces de aplicações em ambientes de desenvolvimento que fornecem este suporte.

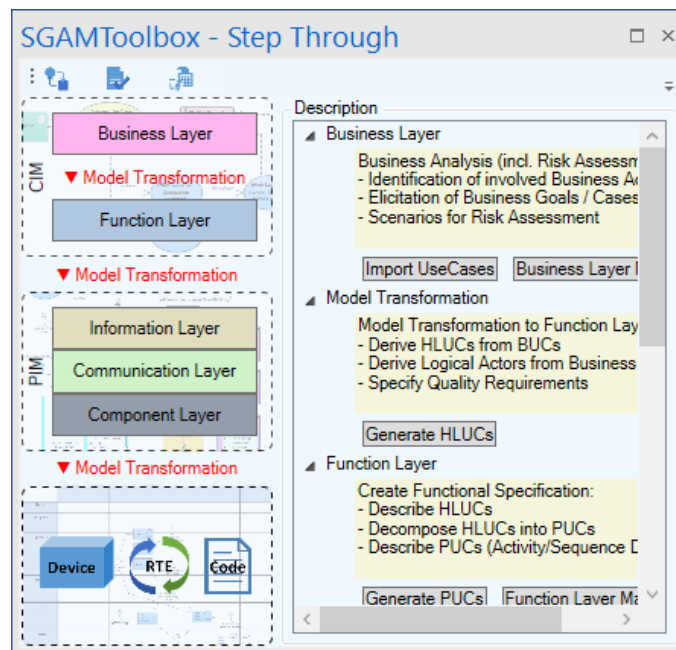
Figura 31 – Janela do CIM EA para seleção de classes e atributos necessários a um perfil CIM



Fonte: O próprio autor

4.2.1.3 SGAM Toolbox

SGAM Toolbox (NEUREITER, 2014) é um *add-on* gratuito para *Enterprise Architect* destinado ao desenvolvimento de sistemas de REIs em referência ao *Smart Grid Architecture Model* (SGAM), conforme introduzido pelo *Smart Grid Coordination Group*. Embora forneça também ferramentas para a descrição de *Use Cases* como *Modsarus Use Cases* (ver Figura 32), *SGAM Toolbox* não é capaz de gerar a documentação dos UCs seguindo o formato definido na IEC 62559-2. Desta forma, reservou-se ao utilitário a tarefa de documentação dos demais tópicos da metodologia, como o desenvolvimento das camadas de interoperabilidade. A documentação do *SGAM Toolbox*, desenvolvida por Neureiter (2014), também foi utilizada como inspiração para o CVDS proposto neste trabalho.

Figura 32 – Janela de ferramentas do *SGAM Toolbox*

Fonte: O próprio autor

4.2.2 Módulos Python

Para a implementação da prova de conceito do Sistema Multiagente de Recomposição Automática, os autores em (BARBOSA, 2017; SAMPAIO, 2017a, 2017b) adotam as seguintes bibliotecas *Python*:

- PADE – *Python Agent Development Framework* (MELO et al., 2019): *Framework* de desenvolvimento em *Python* destinado à concepção e execução de projetos de sistemas multiagente distribuídos. PADE implementa parte das especificações FIPA e fornece ferramentas para a construção e execução de agentes em *thread* única assíncrona;
- *MyGrid* (JUREMA, 2019): Biblioteca para realização de estudos de fluxo de carga e de curto-circuito em redes elétricas de distribuição de topologia radial e radial com recurso. O *MyGrid* aposta numa estrutura de dados alternativa para a representação da topologia de uma rede elétrica, baseada na RNP (Representação Nó-Profundidade), que se mostra computacionalmente eficiente na tarefa de simulação e análise de estados da rede.

Para detalhes acerca destas ferramentas recomenda-se a consulta aos trabalhos dos respectivos autores.

4.3 Considerações Finais

As ferramentas apresentadas neste capítulo, resumidas na Tabela 11, são importantes para a aplicação das metodologias descritas no próximo capítulo. Elas integram o ambiente de desenvolvimento *Enterprise Architect*, com exceção das bibliotecas em *Python*, que são aplicadas somente durante a fase de implementação.

Tabela 11 – Ferramentas de *software* indicadas para o desenvolvimento de sistemas REI

Ferramenta	Aplicação	Normas / padrões relacionados	Informações adicionais
Enterprise Architect	Ambiente para modelagem gráfica de sistemas por meio de diagramas UML	UML (dentre outros)	<i>Windows Vista</i> ou superior / <i>Linux kernel 2.4</i> ou superior + <i>Wine 1.8</i> ou superior / <i>Mac OS 10.8</i> ou superior + <i>Wine 1.8</i> ou superior
Modsarus Use Cases	Modelagem gráfica de <i>Use Cases</i> , lista de atores, lista de requisitos e geração de documentação	Metodologia <i>Use Cases</i> (IEC 62559 e IEC 62913)	<i>Add-on</i> para <i>Enterprise Architect</i>
Modsarus Data Flow	Modelagem de objetos de informação e geração de artefatos para modelos de informação	CIM (IEC 61970-301, IEC 61968-11 e IEC 62325-301); CIM XSD (IEC 62361-100)	<i>Add-on</i> para <i>Enterprise Architect</i>
CIM EA	Modelagem de objetos de informação e geração de artefatos para modelos de informação	CIM; CIM RDF (IEC 61970-501)	<i>Add-on</i> para <i>Enterprise Architect</i>
SGAM Toolbox	Modelagem de camadas de interoperabilidade e de componentes do sistema	SGAM	<i>Add-on</i> para <i>Enterprise Architect</i>
PADE	Criação e gerenciamento de sistemas multiagentes	FIPA	Módulo <i>Python</i> . Código aberto.
MyGrid	Representação de rede elétrica e simulação de estados	RNP	Módulo <i>Python</i> . Código aberto.

Fonte: O próprio autor

5 METODOLOGIA PARA O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS REI

5.1 Introdução

Projetos em Engenharia de Sistemas e de *Software* geralmente empregam métodos bem conhecidos para gerenciamento do Ciclo de Vida de Desenvolvimento de Sistemas (CVDS). Dentre os modelos de ciclo mais comuns, estão o modelo cascata, modelo-V e *agile* (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998). A metodologia sugerida neste trabalho baseia-se no modelo cascata, e compreende as seguintes etapas principais:

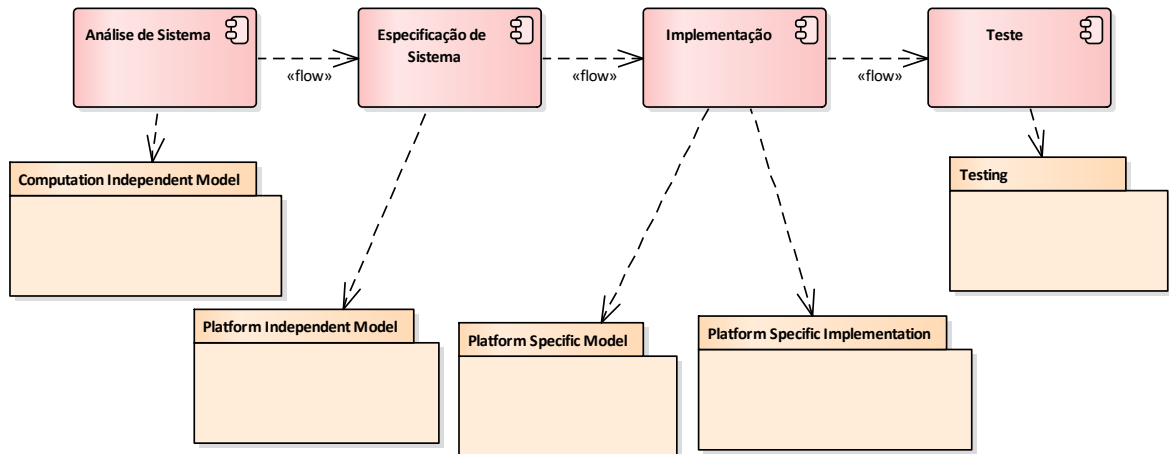
1. Análise
2. Especificação
3. Implementação
4. Teste

É possível ainda considerar a fase de Evolução, representando os novos ciclos de iteração que sucedem o lançamento do produto. Estes ciclos podem ser decorrentes de experiências práticas durante a operação e a manutenção do sistema, visando trazer melhorias e acréscimo de novas funcionalidades. Apesar do surgimento de novas versões e produtos, é importante que a compatibilidade com versões anteriores seja mantida para que a interoperabilidade do sistema não seja comprometida. Em cenários desfavoráveis, entretanto, pode ser necessária uma migração a fim de que novos requisitos de interoperabilidade identificados sejam cumpridos. Diante desse desafio, emerge-se a demanda por uma boa ferramenta de gerenciamento de versões que acompanhe as modificações e forneça aos usuários informações úteis do estado do produto e de sua compatibilidade com versões antigas.

Na Figura 33 é apresentada uma visão geral do modelo em cascata da metodologia presente neste trabalho, que segue a nomenclatura da estrutura *Model-Driven Architecture*® (OMG, 2014). O modelo independente de computação (*Computation Independent Model*) é gerado como resultado da etapa de análise. Este modelo limita-se a descrever os aspectos de negócios e as funcionalidades do sistema, dando foco ao domínio em vez de mostrar detalhes da estrutura do sistema. Como resultado da etapa de especificação é gerado o modelo independente de plataforma (*Platform Independent Model*), no qual detalhes a respeito dos atores de sistema, objetos de informação e protocolos são descritos. Precedendo a implementação, o modelo de plataforma específica (*Platform Specific Model*) deve ser elaborado, contendo detalhes das interfaces e das funcionalidades internas de cada componente,

tais como bases de dados internas. Este mesmo modelo pode conter também detalhes acerca de requisitos de segurança e análise de risco. A implementação do produto final é denominada implementação de plataforma específica (*Platform Specific Implementation*), para a qual casos de teste podem ser desenhados e conduzidos.

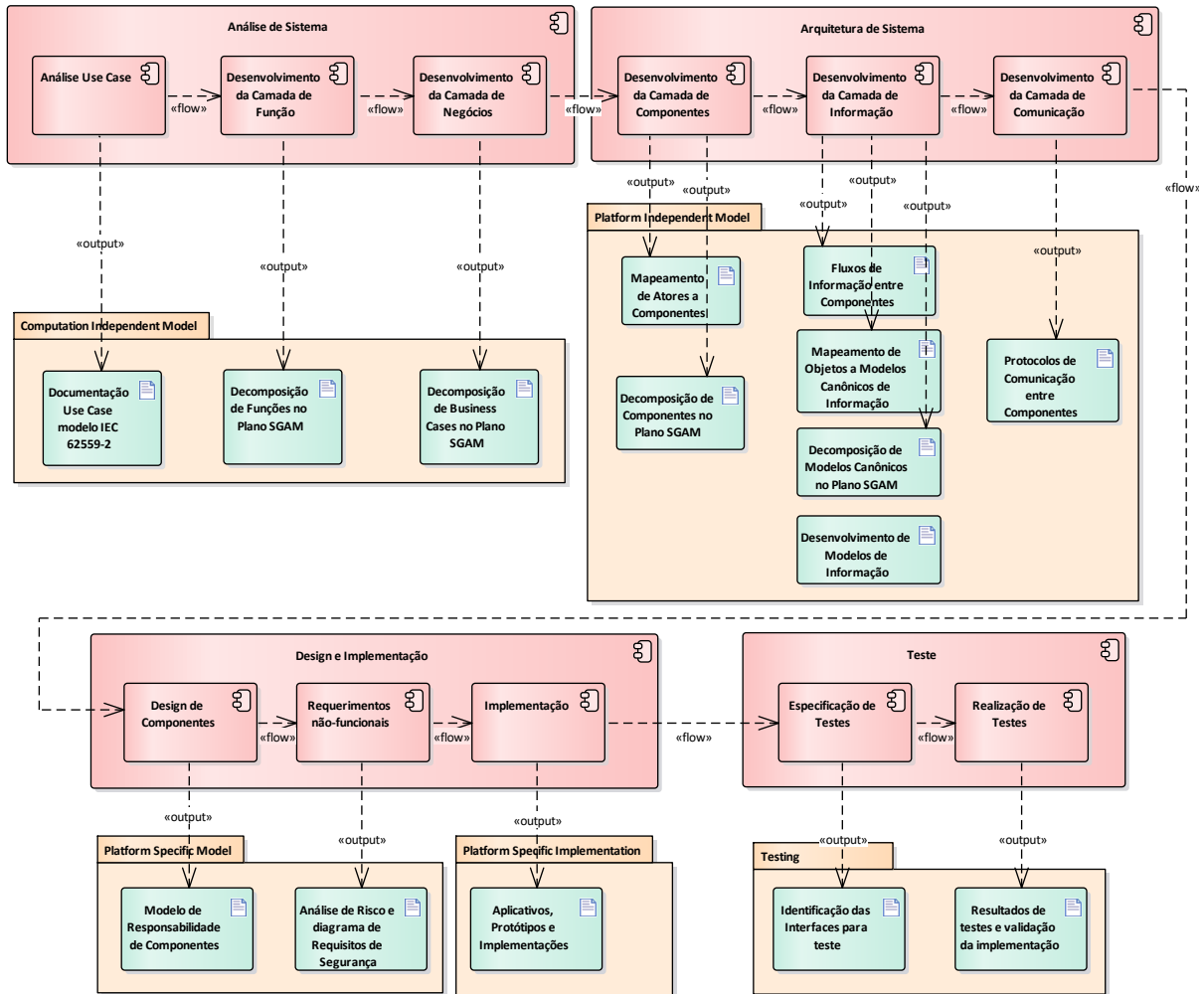
Figura 33 – Visão geral das etapas da metodologia e os documentos resultantes



Fonte: O próprio autor

Na Figura 34 a metodologia proposta é detalhada, ilustrando suas subetapas e as documentações geradas após cada atividade. O CVDS proposto neste trabalho foi concebido de forma a ser futuramente estendido para modelos mais completos, como por exemplo, o modelo-V, a fim de comportar fases de teste, verificação e validação para cada uma das etapas presentes no modelo cascata.

Figura 34 – Detalhes dos documentos resultantes de cada etapa



Fonte: O próprio autor

A metodologia é apresentada e concomitantemente aplicada para a documentação do Sistema Multiagente de Automação da Distribuição (SMAD), introduzido na seção 2.6.

5.2 Escopo do Sistema

A Automação da Distribuição, segundo Sampaio (2017b, seq. 2.3), compreende os sistemas relacionados à automação das Subestações Distribuidoras (SEDs) e do Sistema de Distribuição em Média Tensão (SDMT). Um Sistema de Automação de Subestação Distribuidora (SAS) refere-se aos elementos necessários à operação automatizada da subestação e dos equipamentos conectados, como cabos, cargas e geradores. O SAS perpassa três zonas hierárquicas do SGAM: Processo, Campo e Estação, também denominadas nível *zero*, *um* e *dois*, respectivamente.

O SAS contém funcionalidades que fornecem suporte a níveis hierárquicos superiores (nível *quatro* ou zona de Operação), agindo como terminal remoto de sistemas SCADA localizados no Centro de Operação da Distribuição (COD). Outras operações comuns incluem funções de proteção, controle automático de chaves para reconfiguração da rede ou ainda operação manual de equipamentos.

Um dos subsistemas do SMAD é o Sistema Multiagente de Recomposição Automática (SMRA), objeto da metodologia aqui aplicada.

5.3 Modificações Propostas ao SMAD

Ao longo da aplicação da metodologia proposta neste trabalho, foram identificadas algumas melhorias e modificações menores a serem incorporadas aos trabalhos de Sampaio (2017b), Sampaio (2017a) e Barbosa (2017). Estas modificações são listadas e justificadas neste tópico. A lista original de atores da Tabela 3 é tomada como base para os tópicos a seguir.

5.3.1 Supressão do Agente de Diagnóstico de Falta

Uma das propostas é a supressão do Agente de Diagnóstico de Falta (ADF) e a delegação de suas responsabilidades ao Agente de Diagnóstico e Configuração (ADC). As seguintes motivações levaram à tomada desta decisão:

- O ADF possui poucas responsabilidades, que são totalmente acopladas às análises realizadas pelo ADC. Desse modo, qualquer modificação no funcionamento do ADC acarretaria na necessidade imediata de modificar todas as suas interfaces (trocas de informações) com o ADF;
- O ADF é concebido somente para receber mensagens do ADC, criando interfaces de comunicação desnecessárias, visto que os relatórios de falta e recomposição poderiam ser facilmente emitidos pelo próprio ADC;
- A função do ADC se confunde à do ADF no SMDF, visto que a emissão de um relatório de falta é o único documento que se deseja obter ao fim do processo;
- No contexto dos módulos SMRA, SMDIF e SMDF, a formalização da sintaxe dos objetos trocados entre os atores é dificultada graças à necessidade de um número maior de modelos de informação, relativos a cada uma das atividades realizadas pelo ADC ao longo do processo de recomposição (logo após a localização da falta e após

a realização de cada ação de chaveamento). Caso o relatório seja criado pelo ADC, ele pode ser facilmente atualizado durante o processo sem a necessidade de mais envios de mensagens.

5.3.2 Tratamento de SMRA, SMDIF e SMDF como um módulo único

Outra proposta é a abordagem de SMRA, SMDIF e SMDF e das diferentes conjunturas identificadas na Figura 4 como diferentes cenários de um mesmo *Use Case* para o Sistema Multiagente de Recomposição Automática. A descrição da sequência de processos pode ser mantida a mesma, entretanto a execução destes processos ocorre ou não em função da disponibilidade de equipamentos capazes de serem operados remotamente e da existência de chaves de recurso entre alimentadores – quer sejam elas pertencentes à mesma subestação quer não. Neste caso, o processo de negociação de recomposição por subestações vizinhas é iniciado.

5.3.3 Formalização dos Objetos de Informação

Propõe-se a formalização dos objetos de informação trocados entre todos os agentes por meio da elaboração de um modelo de informação para cada contexto. Como forma de assegurar a interoperabilidade de sistemas e agentes e um subdomínio de sistemas de potência, o CIM é adotado como ontologia base, do qual diferentes perfis devem ser construídos com o objetivo de prover a cada contexto de conversação uma semântica única.

Como regra geral, objetos que de alguma forma representem a topologia de uma rede elétrica são serializados em RDF (com os modelos de informação serializados também em RDF). Demais objetos são serializados em XML, com modelo de informação em XSD.

5.3.4 Revisão dos Comportamentos dos Agentes

Por fim, as alterações propostas acima desencadeiam mudanças nos comportamentos dos agentes introduzidos por Barbosa (2017). Os itens a seguir são tratados tendo o SMAD como escopo:

- O ACom deve se comportar como fonte de dados oferecendo um serviço de publicação de mensagens sob um modelo editor-assinante (protocolo de interação *FIPA Subscribe*) para outros agentes que desejem se inscrever e obter informações vindas dos IEDs (em particular, o ADC da própria subestação);

- O ACom deve também responder a comandos do ADC para realização de manobras junto aos IEDs por meio de comunicação cliente-servidor (protocolo de interação *FIPA Request*);
- Um ACom pode se conectar a um ou mais IEDs em campo ao mesmo tempo, não sendo permitido a vários agentes de comunicação compartilharem dispositivos entre si. Enquanto virtualmente os AComs compõem a infraestrutura do SMAD, fisicamente eles podem estar localizados mais próximos dos IEDs (por exemplo, embarcados em computadores de placa única) ou em execução na mesma máquina que os demais agentes;
- Cada ACom deve ser capaz de lidar com protocolos distintos de comunicação com os IEDs, como Modbus, DNP3 e IEC 61850, abstraindo a forma de comunicação e convertendo os dados recebidos destes dispositivos para uma ontologia única, compreendida pelos agentes assinantes. Da mesma forma, o ACom pode receber ordens do ADC para comandar IEDs de diferentes tecnologias;
- O ADC deve se cadastrar junto aos AComs para obter acesso às mensagens publicadas. Além disso, ele pode alterar o estado da rede ao enviar comandos de abertura e fechamento de chaves ao ACom. As consequências destas alterações podem ser previamente analisadas em simuladores a fim de detectar restrições operativas da rede;
- O ADC, num cenário em que não seja capaz de realizar recomposição, pode requisitar ao AN que solicite propostas (via protocolo de interação *FIPA Contract Net*) a ADCs de subestações vizinhas. Os critérios para aceitação das propostas são definidos juntos ao próprio AN, enquanto os critérios para envio da proposta dependem das capacidades da rede (antevistas pelo ADC vizinho). Por consequência, o ADC pode agir fornecendo propostas a ANs vizinhos que eventualmente as solicitem;
- Ao finalizar a recomposição de um trecho do SDMT vizinho, o ADC que forneceu o serviço deve elaborar um relatório de recomposição, salvá-lo para consulta pelo operador da própria subestação e encaminhá-lo como informe final ao AN solicitante. O AN solicitante pode complementar o relatório com informações adicionais a respeito dos critérios empregados para avaliação das propostas e enviá-lo ao ADC da própria subestação, para que este atualize o estado virtual da rede e

disponibilize o relatório para o profissional responsável pela operação.

5.4 Análise de Sistema

A descrição do comportamento do sistema por meio de *Use Cases* e as especificações de requisitos funcionais e não funcionais, assim como a própria análise de viabilidade técnica do projeto, são realizadas na fase de Análise, também chamada *concepção* (WILEY, 2015). O embrião da interoperabilidade do sistema é formado ao longo do processo de levantamento dos requisitos de interoperabilidade. O objetivo desta fase é congrega informações técnicas para auxiliar a tomada de decisão nas etapas posteriores (ISO/IEC; IEEE, 2015).

5.4.1 Análise por meio de Use Cases

O desenvolvimento de *Use Cases* (UCs) é por si só uma etapa iterativa. Além disso, é possível que a qualquer momento seja necessário redefinir algum campo de um UC, como a inserção de novos requisitos identificados em outras etapas e, por conseguinte, a redefinição de outros tópicos em cascata. O SG-CG (2014c) recomenda uma abordagem inicial com o preenchimento de somente os tópicos 1 e 2 do modelo IEC 62559-2 para todos os UCs. Esta versão mais simples pode ser alvo de discussões com partes interessadas a fim de identificar requisitos e determinar as diretrizes para o detalhamento dos demais tópicos.

A ferramenta utilizada para modelagem e geração da documentação dos *Use Cases* nesta etapa é *Modsar Use Cases* (ambiente *Enterprise Architect*). A entrega (*output*) da etapa é a documentação dos *Business Use Cases* e *System Use Cases* seguindo o modelo IEC 62559-2.

5.4.1.1 Análise de Negócios

As considerações estratégicas e a motivação para a realização de um sistema em particular são estabelecidas nesta etapa, a partir da identificação e definição de três classes principais de entidades, a saber (NEUREITER, 2014):

- *Casos de Negócios (Business Cases)* descrevem as necessidades estratégicas da companhia que ainda não foram atendidas, identificando os impactos desejados pelo projeto a ser desenvolvido e equilibrando as necessidades das diferentes partes envolvidas;
- *Atores de Negócios* referem-se a pessoas físicas ou jurídicas que detêm algum papel

nos processos de negócios a serem desenrolados—para esta etapa, recomenda-se a adoção de um modelo comum de atores e responsabilidades, como o HRM europeu, conforme o item 3.4.3.1; e

- *Objetivos de Negócios* referem-se aos objetivos de cada ator de negócio dentro do domínio em questão.

Neste primeiro estágio, requisitos de qualidade, incluindo segurança e privacidade, podem ser levantados e atribuídos ao *Business Case* na hipótese de sua falha. Outros requerimentos relacionados a regras de mercado ou entidades reguladoras também devem ser considerados, constituindo um primeiro conjunto amplo de requisitos não funcionais.

Em relação à aplicação do processo, o SMRA é concebido com o propósito de sanar o caso de negócio listado na Tabela 12. Um *Use Case* de negócios denominado *Recomposição Automática* foi identificado visando promover uma solução. Ele é iniciado logo após a detecção e a eliminação de uma falta pelos IEDs em Campo.

Tabela 12 – Análise de Negócios do SMRA

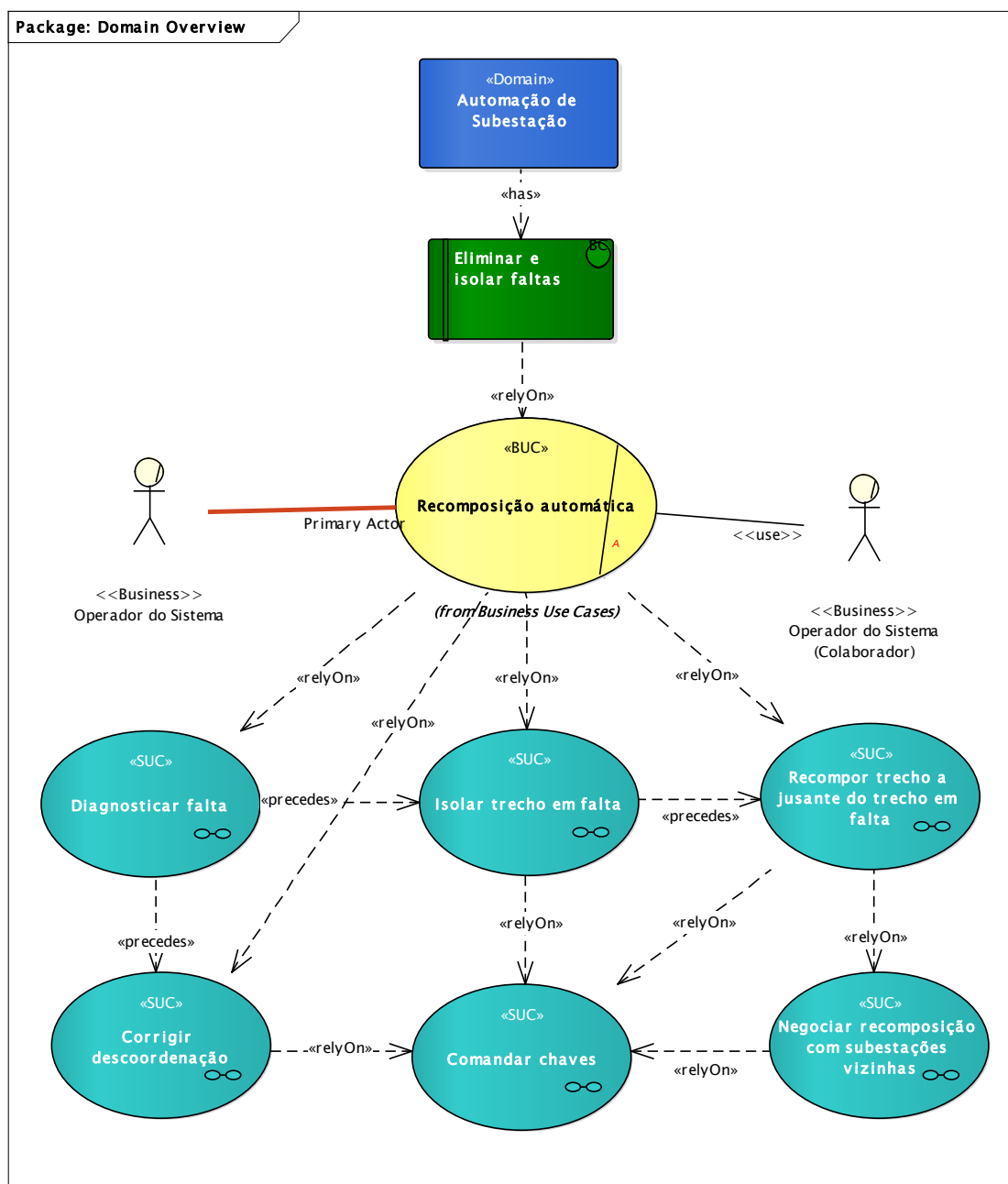
Casos de Negócios	Eliminar, isolar faltas e restaurar sistema.	
Atores de Negócios	Operador do Sistema Entidade responsável por operar, assegurar a manutenção e, se necessário, desenvolver uma dada subestação e, onde aplicável, suas interconexões com outros sistemas, assegurando em longo termo a capacidade do sistema de distribuição em lidar com a demanda.	Operador do Sistema (Colaborador) Operador da subestação vizinha, possível colaboradora no processo de recomposição.
Objetivos de Negócios	Manter a confiabilidade do fornecimento de energia aos consumidores.	Fornecer serviço de recomposição caso possua capacidade de suprimento.

Fonte: O próprio autor

5.4.1.2 Análise Funcional

A decomposição funcional dos BUCs em *System Use Cases* é o principal aporte desta etapa. Neste ponto, devem ser identificados os *Atores de Sistema* (como subsistemas, componentes e aplicações) cuja operação é necessária para a execução dos SUCs, além dos *Objetos de Informação* trocados entre eles. Estes objetos devem compor a seção *Informação trocada* do modelo da IEC 62559-2. O mapa geral dos *Use Cases* identificados é ilustrado no diagrama da Figura 35.

Figura 35 – Visão geral dos Use Cases do SMRA



Fonte: O próprio autor

Seis *System Use Cases* descrevem as funções executadas a nível de sistema para o BUC:

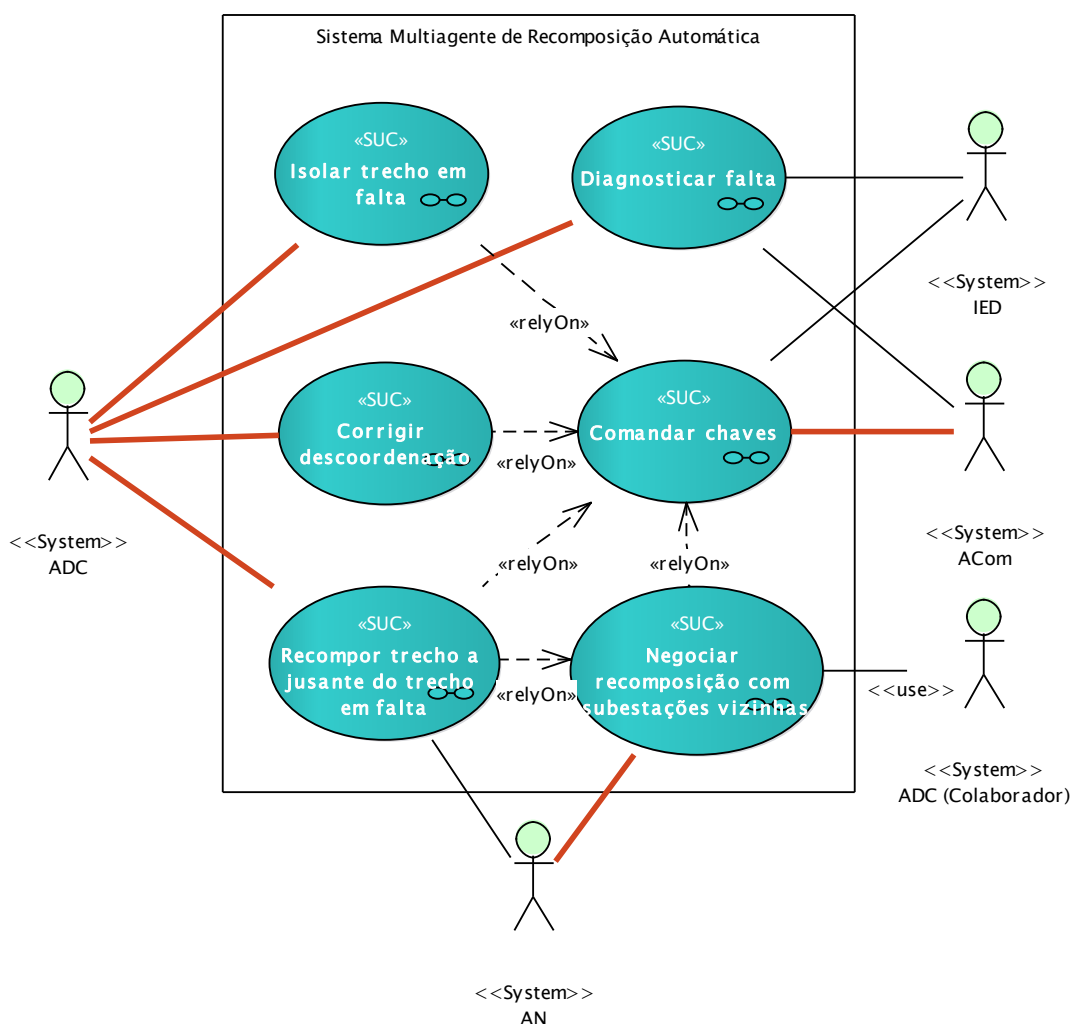
- *Identificar falta*: processo que estima a localização física da falta a partir de dados recolhidos de dispositivos em campo;
- *Corrigir descoordenação*: reestabelece o fornecimento para trechos desenergizados caso haja sensibilização e disparo de mais de um dos relés a montante da falta;
- *Isolar trecho em falta*: isola eletricamente o menor trecho possível em que a falta

está contida (para manutenção do trecho faltoso e realimentação dos trechos sãos);

- *Comandar chaves*: UC secundário utilizado frequentemente por outros SUCs;
- *Recompor trecho a jusante do trecho em falta*: reestabelece o serviço dos trechos sãos desenergizados (pela própria subestação ou por subestação vizinha); e
- *Negociar recomposição com subestações vizinhas*: negocia o serviço de recomposição com subestações vizinhas.

Um diagrama UML de *Use Cases* é ilustrado na Figura 36. A descrição detalhada de todos os UCs, gerada pelo *Enterprise Architect*, se encontra no Anexo F.

Figura 36 – Diagrama UML de *Use Cases* do SMRA



Fonte: O próprio autor

Os atores de sistema identificados nos SUCs são:

- Agente de Diagnóstico e Configuração (ADC)

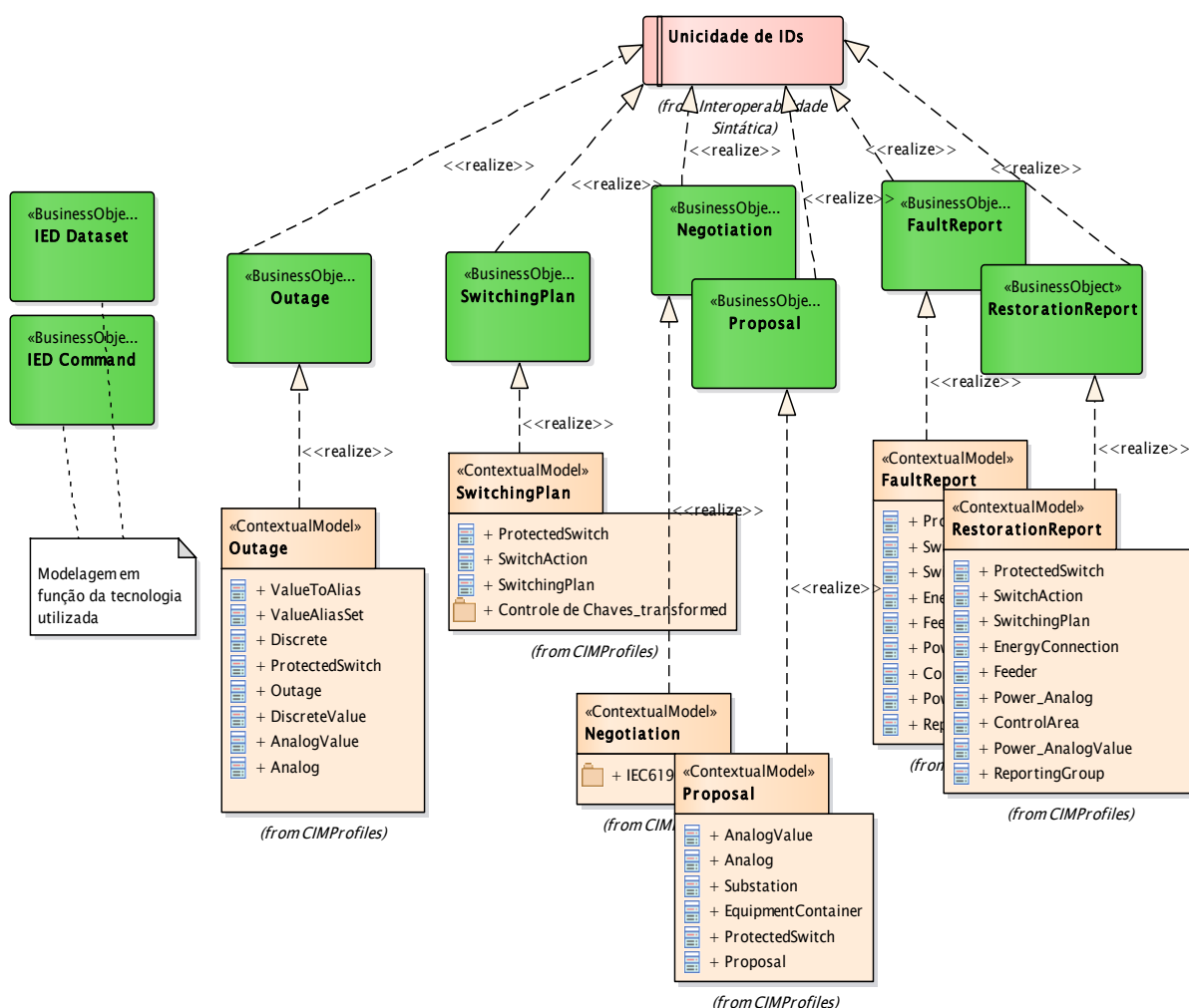
- Agente baseado em utilidade, único por subestação;
- *Sensores*: mensagens de informe de ACom;
- *Atuadores*: mensagens de comando a ACom e AN;
- *Modelo*: SDMT alimentado pela subestação;
- *Medida de desempenho / função objetivo*: maximizar potência total de clientes energizados com o mínimo de manobras possível.
- Agente de Comunicação (ACom)
 - Agente reflexivo simples, um ou mais por subestação, comunicando-se com um ou mais IEDs;
 - *Sensores*: dados recebidos de IEDs;
 - *Atuadores*: mensagens de comando a IEDs.
- Agente de Negociação (AN)
 - Agente baseado em objetivo, único por subestação;
 - *Sensores*: mensagens de comando enviadas pelo ADC, mensagens com propostas fornecidas por ADCs vizinhos;
 - *Atuadores*: mensagens de solicitação de proposta enviadas a ADCs vizinhos;
 - *Objetivo*: negociar recomposição obedecendo a critérios pré-estabelecidos.
- Intelligent Electronic Device (IED)
 - Agente reflexivo simples, geralmente vários por subestação;
 - *Sensores*: comandos enviados pelo ACom, medição analógica de TCs.

Os três primeiros tipos de atores são denominados *agentes internos*, enquanto os do último tipo são os *agentes externos*, conforme a classificação dada pelo autor (SAMPAIO, 2017b). Dos UCs descritos no Anexo F, são identificadas oito classes de objetos de informação, ilustradas na Figura 37 e detalhadas na seção 5.6:

- *IED Dataset*: conjunto de dados enviados por IED a ACom, decorrente do acionamento da proteção para eliminação de uma falta;
- *IED Command*: conjunto de dados enviados por ACom a IED com o propósito de alterar remotamente o estado de uma chave;
- *Outage*: agregação de dados de IEDs coletados pelo ACom e enviados ao ADC para análise;
- *SwitchingPlan*: sequência de comandos para alterar estado de chaves, enviado de ADC a ACom;

- *Negotiation*: modelo do trecho da rede elétrica enviado pelo ADC ao AN para ser analisado e recomposto por outras subestações;
- *Proposal*: dados de uma proposta de recomposição enviada de um ADC vizinho ao AN como resposta a uma solicitação de recomposição;
- *FaultReport*: documento de registro de um evento de falta ocorrido e o plano de ações para atenuar seu impacto na rede, gerado pelo ADC;
- *RestorationReport*: documento de registro do processo de recomposição executado, gerado pelo ADC.

Figura 37 – Diagrama de informações trocadas e respectivos modelos de informação



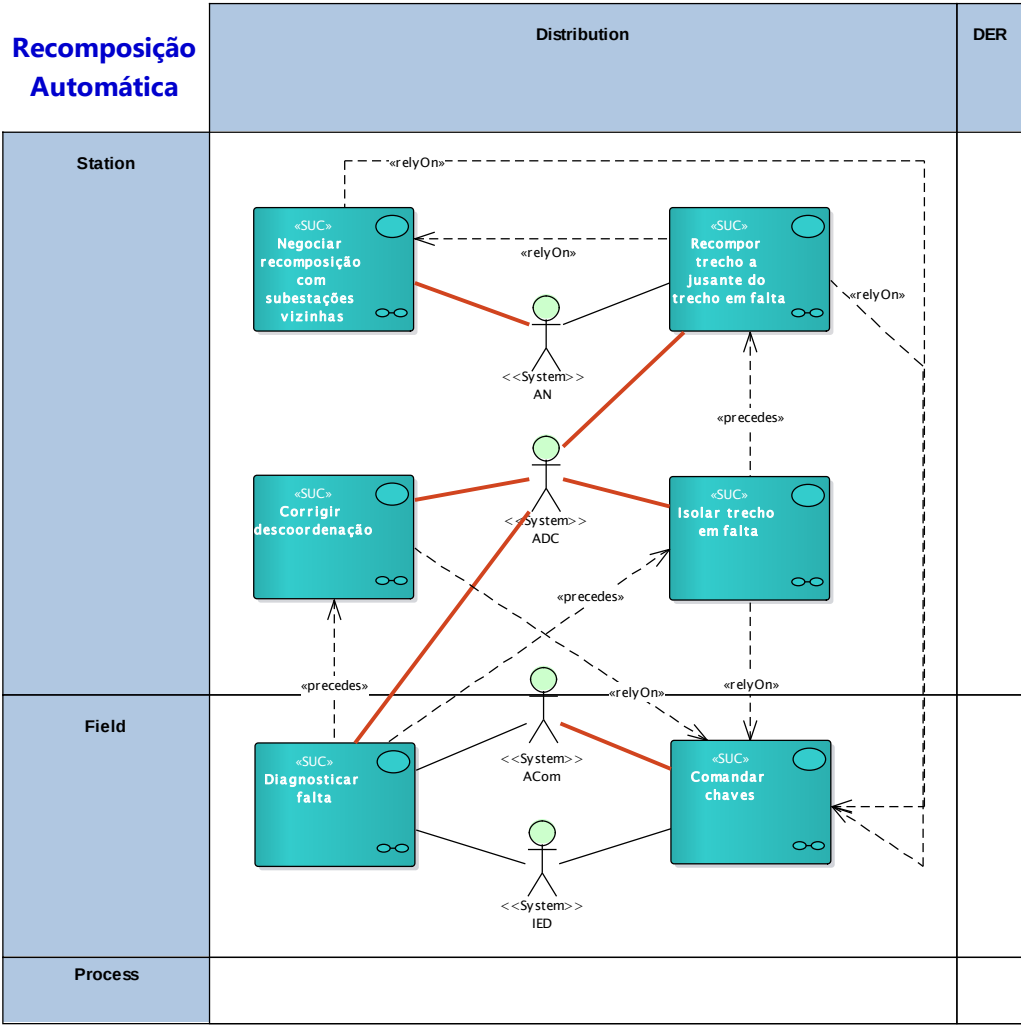
Fonte: O próprio autor

5.4.2 Camada de Função

Com a decomposição do sistema em BUCs e em SUCs, as funcionalidades do sistema podem ser facilmente mapeadas no SGAM. Para cada BUC, o conjunto de SUCs e os *atores de sistema* relacionados devem ser localizados no plano da Camada de Função. As funcionalidades de cada SUC são mapeadas diretamente à Camada de Função do SGAM na Figura 38. As linhas mais espessas indicam o ator primário de cada SUC.

A ferramenta recomendada nesta etapa é *SGAM Toolbox* (ambiente *Enterprise Architect*) para documentação visual dos *System Use Cases* e atores de sistema mapeados no plano SGAM da Camada de Função.

Figura 38 – Camada de Função do SMRA



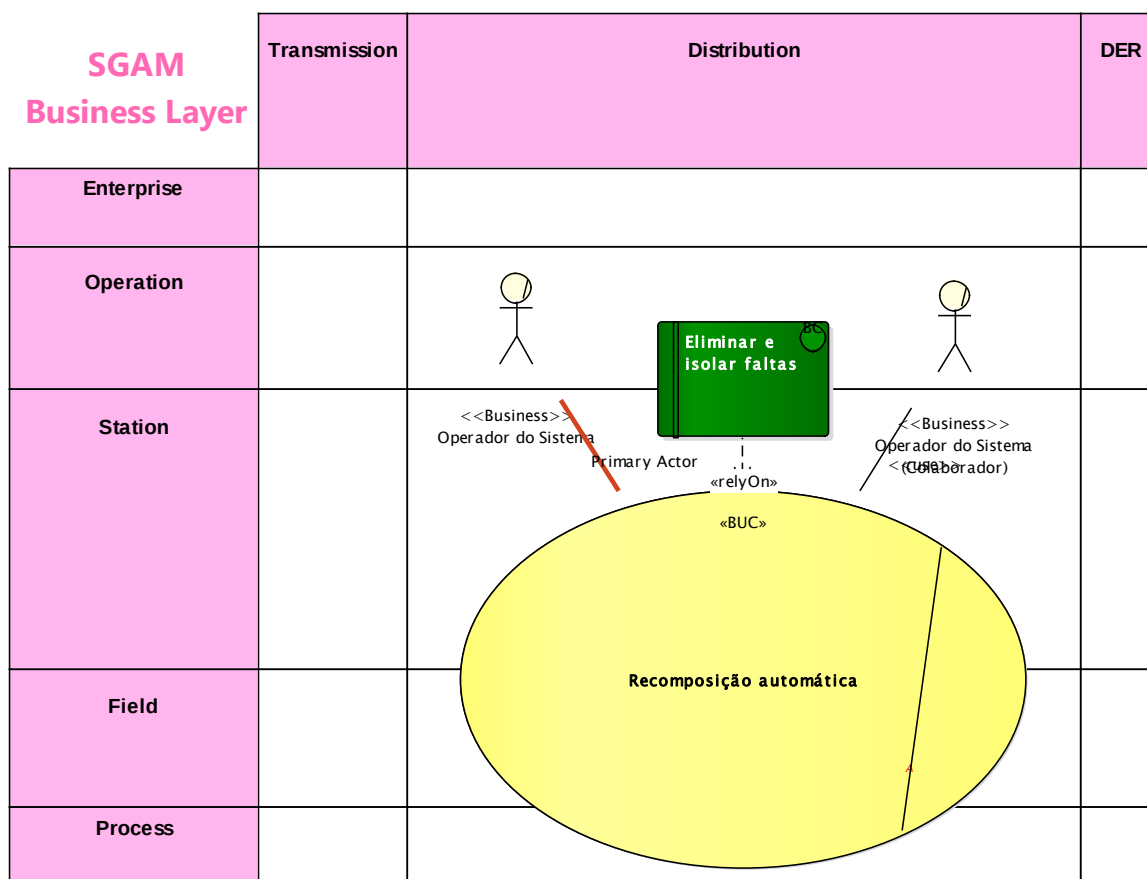
Fonte: O próprio autor

5.4.3 Camada de Negócios

O foco do desenvolvimento da Camada de Negócios é a visualização das zonas e domínios afetados por cada *Business Case*, identificando os BUCs e os atores relacionados a cada caso. As entidades relevantes para o SMRA são representadas no plano SGAM mostrado na Figura 39. Demais aspectos relacionados a legislações, regulações e regras de negócios dentro do SMAD podem ser detalhados em versões futuras.

A ferramenta utilizada nesta etapa é *SGAM Toolbox* (ambiente *Enterprise Architect*) para documentação visual dos *Business Use Cases* e atores de negócios mapeados no plano SGAM da Camada de Negócios.

Figura 39 – Camada de Negócios



Fonte: O próprio autor

5.5 Especificação de Sistema

A fase de especificação recebe diversos outros nomes, como *projeto*, *arquitetura* e *design*. Nesta etapa, os requisitos identificados nas etapas anteriores são refinados e a

arquitetura e os elementos do sistema são especificados, em conjunto com todas as interfaces de integração existentes entre eles (WILEY, 2015, p. 45).

Várias das funções realizadas no escopo do SMRA são comuns a diversos outros sistemas partes do SDMT e cobrem, portanto, os mesmos padrões/normas, com a distinção de que algumas das opções das aplicações podem ter configurações distintas, o que configura diferentes perfis.

Todo o escopo de aplicação do SMRA se restringe ao domínio de Distribuição. Por este motivo, os diagramas podem ser simplificados ao ocultarem-se os domínios Geração, Transmissão, RED e Unidades Consumidoras. Semelhantemente, dado que os componentes relevantes à execução dos processos interagem somente nas zonas de Estação, Campo e Processo, as demais zonas de Operação, Empresa e Mercado são por vezes ocultadas.

5.5.1 Camada de Componentes

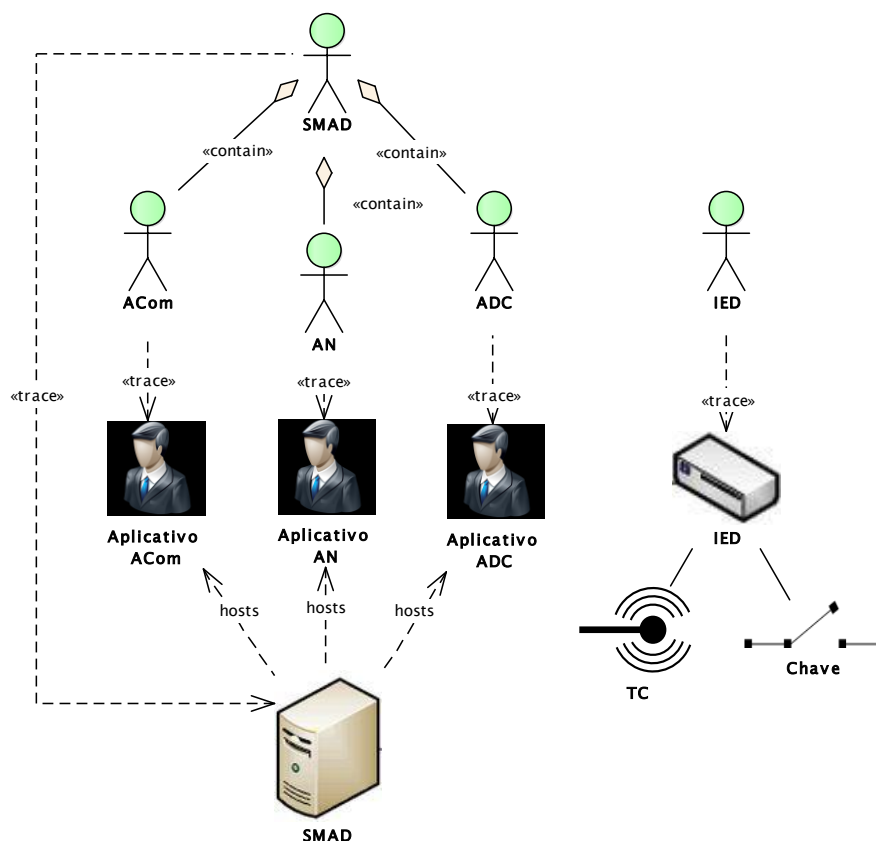
O desenvolvimento da Camada de Componentes representa o primeiro passo para a especificação do sistema em desenvolvimento, mapeando a descrição funcional do sistema a uma arquitetura. A ferramenta utilizada nesta etapa é *SGAM Toolbox* (ambiente *Enterprise Architect*). Como documentos resultantes, estão:

- Mapeamento de Atores a Componentes; e
- Decomposição de componentes no Plano SGAM da Camada de Componentes.

5.5.1.1 Mapeamento de Atores de Sistema a Componentes

Cada ator de sistema deve ser mapeado a um componente físico ou virtual responsável por realizar efetivamente suas funções. É possível que, no momento de idealização do *Use Case*, os atores já tenham sido concebidos de modo a projetarem o funcionamento de dispositivos físicos ou aplicações de *softwares*; neste caso, o mapeamento leva a componentes homônimos. O documento de saída desta subetapa consiste no mapa de atores e componentes, mostrado na Figura 40.

Figura 40 – Mapeamento de atores de sistema a componentes



Fonte: O próprio autor

Como mencionado no início deste capítulo, a arquitetura de componentes do SMRA está dispersa em três zonas hierárquicas de gestão de informação:

- *Estação*: nível que agrega aspectos funcionais relativos ao controle automático da SED e que realiza a interface do SDMT com SEDs vizinhas via negociação em caso de recomposição. Também contém componentes responsáveis pela criação e arquivamento de dados relativos a eventos ocorridos e operações realizadas na rede. Os seguintes componentes (implementados em *software*) se localizam nessa camada:
 - *Agente de Diagnóstico e Configuração (ADC)*: se encarrega da estimação do estado da rede e toma decisões para reconfiguração da topologia com base em eventos do sistema. Também pode colaborar para recomposição de trechos desenergizados de SED vizinhas;
 - *Agente de Negociação (AN)*: se encarrega da negociação para recomposição de trechos desenergizados com SEDs vizinhas;
 - *Agentes de Comunicação (ACom)*: operam ao longo do SDMT como

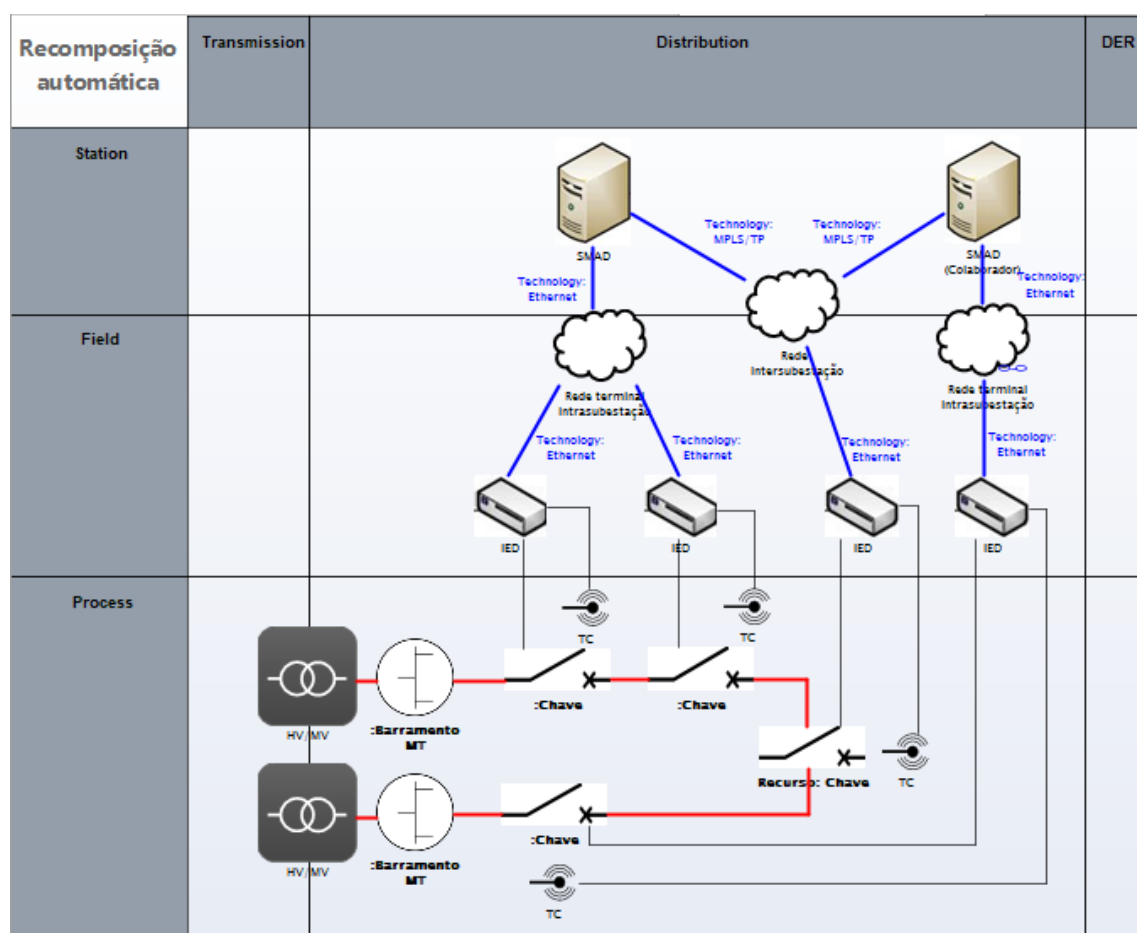
interfaces entre protocolos e objetos de informação padrões do sistema de distribuição (como Modbus, DNP3 e IEC 61850) e os protocolos e objetos internos ao SMAD. Situam-se no limiar entre as zonas de Estação e de Campo.

- *Campo*: reúne dispositivos para proteção, controle e monitoramento de equipamentos primários da subestação, além de equipamentos que compõem a infraestrutura de comunicação:
 - *Intelligent Electronic Devices (IEDs)*: relés de proteção, sinalizadores de falta, controladores de disjuntores, religadores, dentre outros;
 - *Roteadores, switches* e demais componentes da rede de comunicação.
- *Processo*: inclui os equipamentos primários da subestação relevantes ao *Use Case*, essencialmente aqueles relacionados à interrupção de corrente e equipamentos de medição:
 - Disjuntores, chaves motorizadas, seccionadores, religadores;
 - Transformadores de Corrente.

5.5.1.2 *Desenvolvimento da Camada de Componentes e da infraestrutura adicional*

. Após serem identificados, os componentes são localizados no plano SGAM da Camada de Componentes e interligados por meio de conexões que representem os possíveis canais físicos de comunicação entre eles, como na Figura 41. Conexões elétricas entre componentes da zona de Processo podem também ser ilustradas no plano, assim como a infraestrutura de comunicação adicional, como roteadores, *switches* e *firewalls*.

Figura 41 – Localização das instalações na Camada de Componentes



Fonte: O próprio autor

5.5.2 Camada de Informação

O objetivo desta etapa é ilustrar os fluxos de informação entre diferentes componentes, identificar modelos canônicos padrões e modelar os objetos de informação com base nestes modelos. O ambiente de desenvolvimento para esta etapa é o programa *Enterprise Architect*, tendo como documentação de saída:

- Fluxos de objetos de informação entre componentes no plano SGAM da Camada de Informação (utilizando *SGAM Toolbox*);
- Mapeamento de objetos de informação aos modelos canônicos (utilizando *SGAM Toolbox*);
- Decomposição de modelos canônicos no plano SGAM da Camada de Componentes (utilizando *SGAM Toolbox*);
- Criação dos Modelos de Informação com base nos modelos canônicos identificados

(utilizando *Modsar Data Flow* ou *CIM EA*).

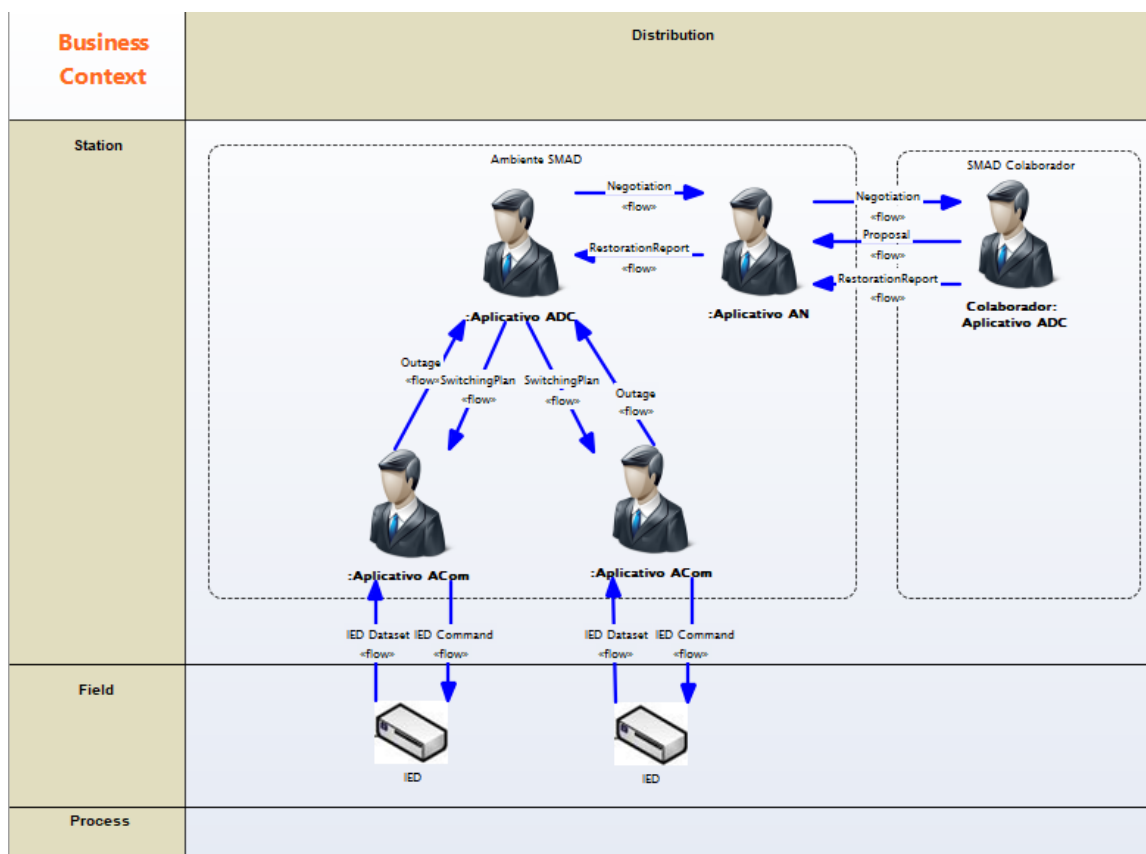
5.5.2.1 Fluxos de objetos de informação

Uma das contribuições deste trabalho é a formalização e modelagem dos objetos de informação transmitidos entre os agentes internos ao SMAD. A descrição do UCs referentes ao SMRA revela os requisitos de comunicação entre atores, que podem incluir:

- informar sobre o ambiente monitorado por um ator;
- solicitar a execução de tarefas;
- emitir relatório de eventos.

Inicialmente, objetos de informação trocados entre atores de sistema devem ser identificados no plano da Camada de Informação, porém desta vez associados aos componentes concretos correspondentes, como mostrado na Figura 42.

Figura 42 – Fluxos de informação entre atores na Camada de Informação

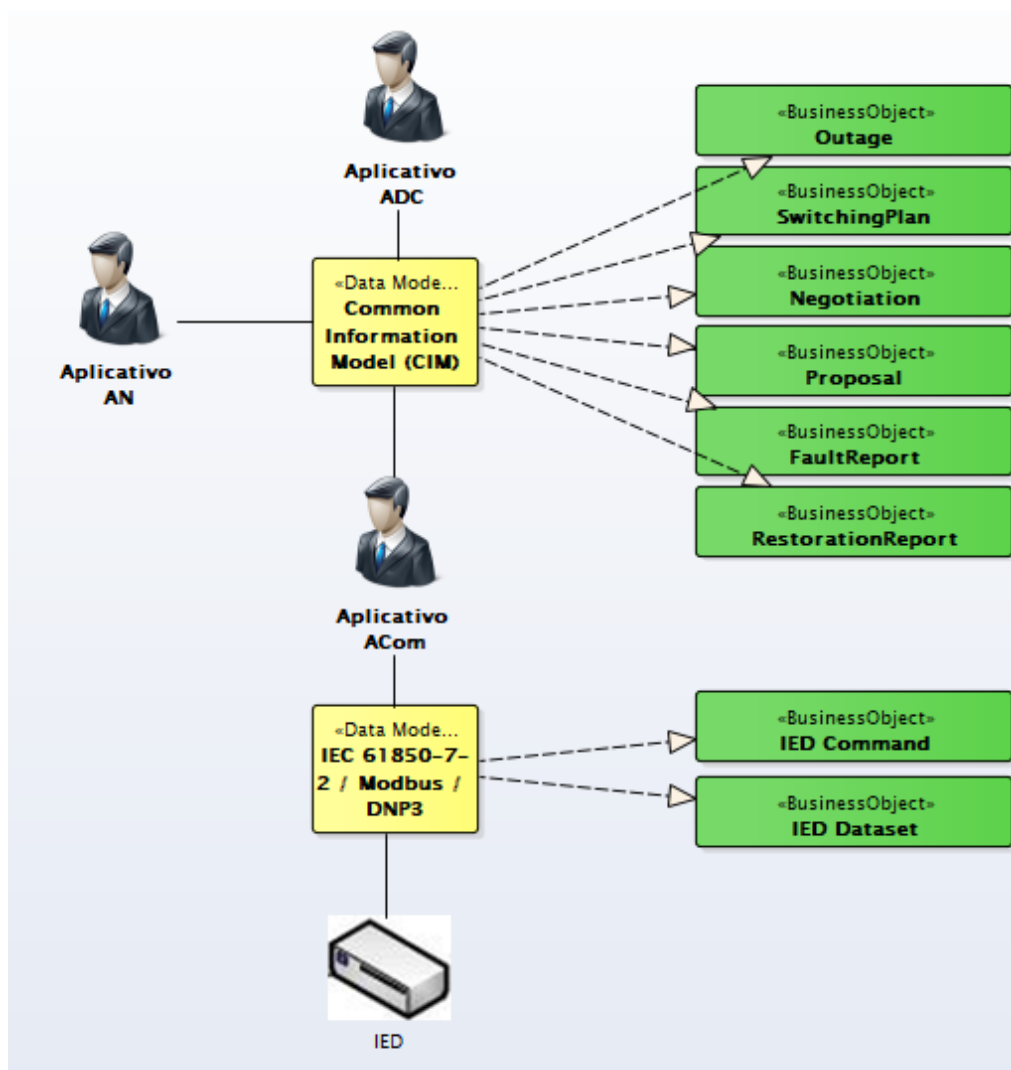


Fonte: O próprio autor

5.5.2.2 Mapeamento de objetos a modelos padrão

Em função do contexto, domínio e zona em que se aplicam, os objetos de informação podem ser modelados a partir de diferentes modelos canônicos. Alguns dos principais modelos normatizados são mencionados no item 3.4.3.3. O diagrama da Figura 43 ilustra o mapeamento dos objetos de informação aos padrões de modelos canônicos identificados para representá-los. No diagrama estão presentes os atores de sistema, associados aos modelos canônicos que servem de base para os objetos de informação que eles enviam para ou recebem de outros atores. O modelo de dados adotado para a comunicação entre Agentes de Comunicação e IEDs varia em função da tecnologia do IED.

Figura 43 – Mapeamento dos objetos de informação em modelos canônicos



Fonte: O próprio autor

Assim, para as zonas de Campo e Estação identificaram-se os seguintes padrões referentes a modelos canônicos (com base no item 3.4.3.3) que podem satisfazer os requisitos de informação:

- *Estação*: Troca de informação entre agentes internos feita através de objetos modelados a partir do CIM, partes IEC 61970-301 e IEC 61968-11.
- *Campo*: Os Agentes de Comunicação (ACom) devem interfacear a troca de informação entre o ambiente dos agentes internos e o ambiente onde se localizam os IEDs. O modelo de informação desta zona está geralmente atrelado ao protocolo de comunicação utilizado, como:
 - *Modelos de dados IEC 61850*: Os dados referentes às funções do IED são organizados numa estrutura hierárquica. Um dispositivo físico pode ser configurado para, na ocorrência de um evento de sistema (como uma falta), enviar ao Agente de Comunicação um pacote contendo diferentes atributos de dados relevantes.
 - *Pacotes Modbus*: Modbus utiliza pacotes simples para enviar e receber comandos e dados através da rede num esquema mestre-escravo. Os dados, que podem ser do tipo booleano (entradas discretas e *coils*) ou palavras de 16-bits (registradores de entrada e de escrita), são organizados em tabelas de endereços na memória do dispositivo escravo. A simplicidade da representação dos dados limita os comandos a operações de leitura e escrita na memória.
 - *DNP3*: É em parte baseado em interfaces de serviços, protocolos e objetos definidos no conjunto de normas IEC 61870-6.

5.5.2.3 *Decomposição de modelos canônicos na Camada de Informação*

O diagrama da Figura 44 sumariza os modelos canônicos adotados para o conjunto de UCs do sistema, devidamente localizados na Camada de Informação. Embora, a princípio, a figura apresente um diagrama simples, projetos mais extensos podem contar com diversos modelos de dados, e, neste caso, a visualização destes no plano SGAM pode servir de auxílio ao longo da etapa de implementação, ocasião em que são efetivamente utilizados.

Figura 44 – Mapeamento dos modelos canônicos na Camada de Informação

Canonical Data Model	Distribution	DER
Operation		
Station	«Data Model Sta... Standard and Information Object Mapping::Common Information Model (CIM)	«Data Model Standa... Standard and Information Object Mapping::IEC 61850- 7-2 / Modbus / DNP3
Field		
Process		

Fonte: O próprio autor

5.5.2.4 Desenvolvimento dos perfis modelo de informação

O desenvolvimento dos perfis para modelos canônicos de informação é tratado com detalhes no tópico 3.6.1. Cada classe de objetos trocados entre atores deve ser modelada a partir do modelo canônico mapeado. No caso de objetos CIM, a serialização dos modelos de informação pode seguir por dois caminhos: CIM RDF ou CIM XSD. Um critério simples é a aplicação de esquemas RDF para a representação de redes elétricas em parte ou inteiras e a utilização de esquemas XML para objetos de propósitos gerais.

Em relação ao *add-on CIM EA, Modbus Data Flow* fornece mais facilidades na construção de artefatos, com processo iterativo, validação de modelo. O aporte desta subetapa são os artefatos para cada perfil.

Desta forma, três categorias de perfis diferentes podem ser definidas para a interface *ACom ↔ IED*:

- (I-A1): IEC 61850-7-2

- (I-A2): Modbus
- (I-A3): DNP3

Já para as interfaces entre os agentes há somente uma categoria a ser detalhada:

- (I-B): *Common Information Model* (partes IEC 61970-301 e IEC 61968-11)

5.5.3 Camada de Comunicação

Os objetos e seus respectivos modelos canônicos, já devidamente identificados na Camada de Informação, assim como outros requisitos não funcionais do UC, servem de base para que os protocolos ou mecanismos apropriados sejam determinados e logo mapeados à Camada de Comunicação.

As atividades a serem realizadas na Camada de Comunicação se resumem à seleção das normas e padrões a serem aplicados em cada contexto de comunicação entre atores, sucedida pela criação e especificação dos perfis de comunicação. Para isso, com base na localização dos atores de sistema na Camada de Componentes, é possível estimar a natureza em que cada comunicação ocorre, localizá-la no plano da Camada de Comunicação da Figura 14, identificar a que tipo de rede pertence e, com base na Tabela 7, filtrar alguns dos protocolos que podem ser empregados.

A definição da Camada de Comunicação em diversos aspectos pode estar também relacionada aos padrões escolhidos para a Camada de Informação. Diversos padrões, como a série IEC 61850, tratam tanto de conceitos relacionados à Informação (partes 3, 6 e 7 da série) quanto à Comunicação (partes 3, 7-1, 8-1 e 9-2). Como as especificações para as duas camadas são harmonizadas dentro da mesma série de normas, a sua adoção por completo pode ser determinante para garantir a interoperabilidade dos dispositivos que as implementam.

Por consequência, IEDs baseados na IEC 61850 devem estabelecer comunicação com o ACom por meio do protocolo MMS sobre TCP/IP, conforme determinado na IEC 61850-8-1. O protocolo IP pode ser adotado mesmo para IEDs cujo padrão seja DNP3 ou Modbus, pois, embora estes sejam protocolos de comunicação serial, possuem contraparte encapsulada em pacotes TCP/IP, como *DNP3 sobre TCP/IP* e *Modbus TCP*. Além disso, tendo como premissa uma maior robustez, menor custo do sistema de comunicação e a hipótese de uma topologia de rede de comunicação estática, a conexão dos dispositivos via *Ethernet* é preferível frente ao

padrão *Wi-fi*. Todas estas especificações estão de acordo com uma rede *terminal intrassubestação* (rede tipo D, ver classificações no item 3.4.3.4).

Para a comunicação interagentes já é previsto o padrão FIPA-ACL para os pacotes de mensagens, implementado sobre TCP/IP, escolha esta derivada da implementação do sistema multiagente padrão FIPA.

Para a rede *intersubestação*, um requisito é que o protocolo utilizado mantenha intactas as camadas 3 e superiores do modelo OSI, visto que é necessário manter a compatibilidade com a plataforma multiagente que se apoia no protocolo IP. De acordo com a Tabela 7, dentre os candidatos normalmente utilizados que satisfazem o requisito, estão: IP/MPLS, MPLS/TP, SONET/SDH, SONET NG, OTN e DWDM.

Os perfis especificados na Camada de Informação podem então ser detalhados e outros podem ser definidos. Três perfis para a interface *ACom* ↔ *IED*:

- (C-A1): MMS sobre TCP/IP (IEC 61850) + Ethernet
- (C-A2): Modbus TCP/IP + Ethernet
- (C-A3): DNP3 sobre TCP/IP + Ethernet

Seis perfis para a interface *AN* ↔ *ADC Colaborador* (intersubestação):

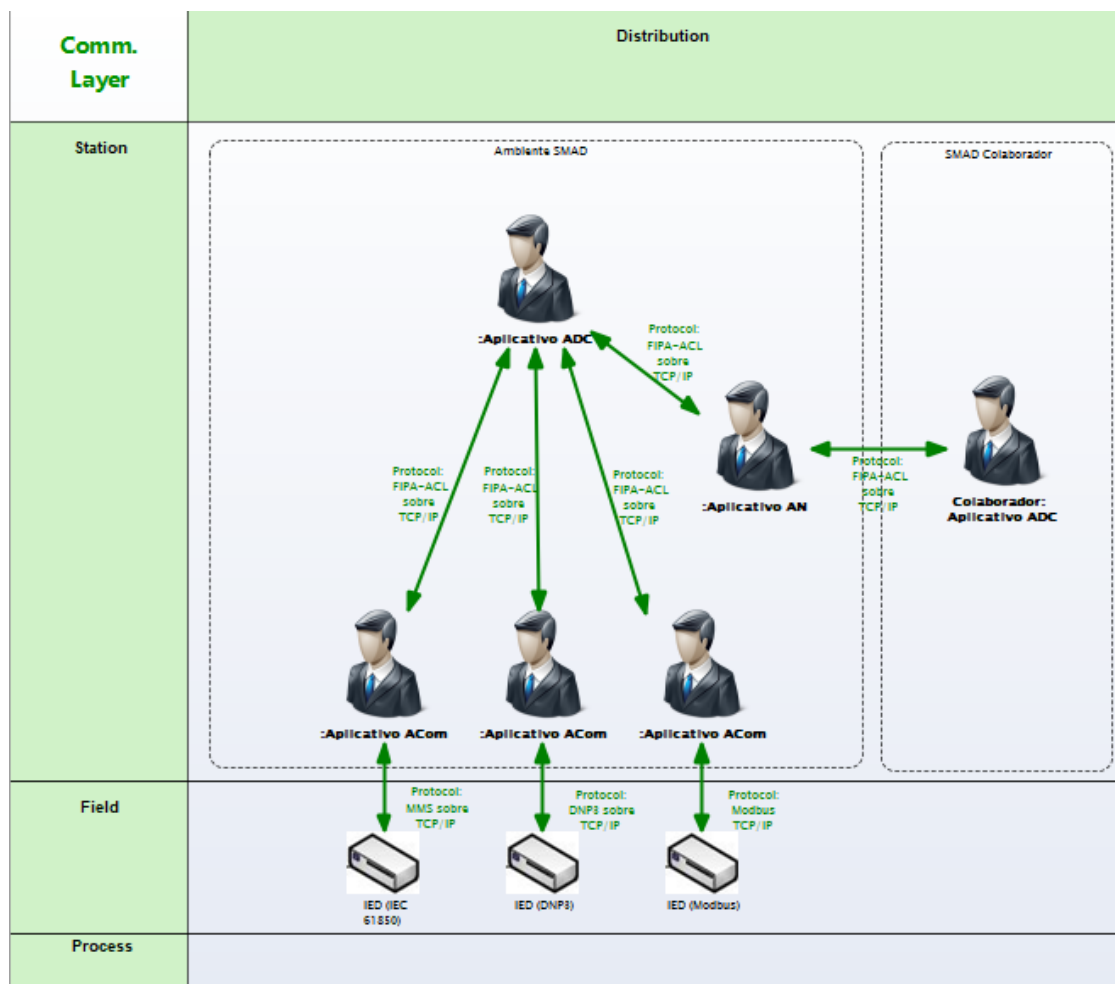
- (C-B1): FIPA-ACL + TCP/IP + **IP/MPLS**
- (C-B2): FIPA-ACL + TCP/IP + **MPLS/TP**
- (C-B3): FIPA-ACL + TCP/IP + **SHD/SONET**
- (C-B4): FIPA-ACL + TCP/IP + **OTN**
- (C-B5): FIPA-ACL + TCP/IP + **SONET NG**
- (C-B6): FIPA-ACL + TCP/IP + **DWDM**

Um perfil para as interfaces entre demais agentes:

- (C-B7) FIPA-ACL + TCP/IP + **Ethernet**

A Figura 45 resume uma das possíveis implementações para a Camada de Comunicação, com três tipos de comunicação com IEDs (perfis A1, A2 e A3). Protocolos de camadas OSI inferiores são ilustrados na Figura 41.

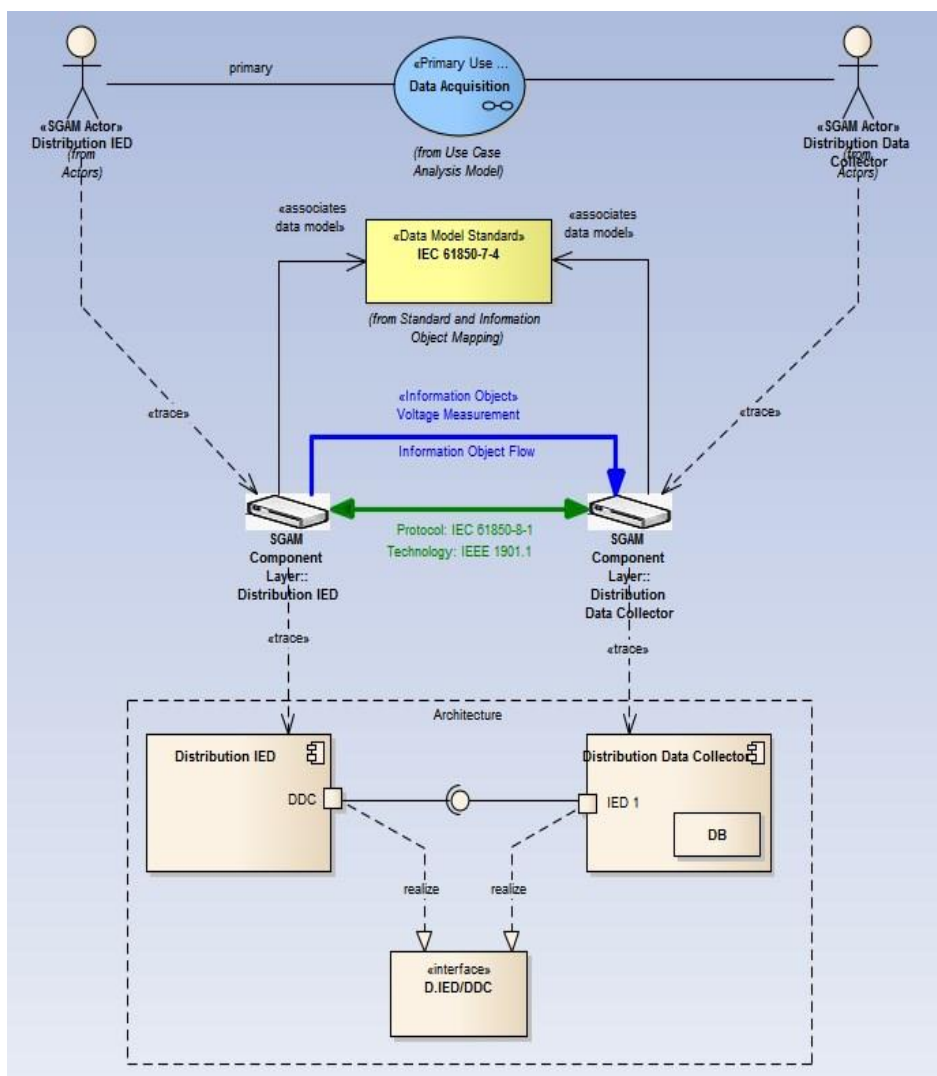
Figura 45 – Camada de Comunicação



Fonte: O próprio autor

5.5.4 Design de Componentes

Antecedendo a implementação da solução, o desenvolvimento do sistema requer a definição e o detalhamento de suas partes, que devem ser apresentadas sob uma perspectiva de caixa-branca. Cada funcionalidade do sistema deve ser associada às interfaces de interoperabilidade entre os atores envolvidos (camadas de Componente, Comunicação, Informação e Função), além dos elementos internos aos atores, como bancos de dados ou simuladores, como mostrado na Figura 46.

Figura 46 – Exemplo de diagrama para *design* de componentes

Fonte: (NEUREITER, 2014)

5.5.5 Identificação de Demais Requisitos Não Funcionais

As questões mencionadas nos tópicos anteriores descrevem a arquitetura de sistemas em REIs com foco na sua funcionalidade, por meio dos *Use Cases*. Alguns tipos de requisitos não funcionais do sistema, entretanto, podem ser apontados somente quando os seus componentes (em particular, dispositivos e subsistemas que possuem interfaces com outros serviços) já são conhecidos. Dentre estes requisitos, estão: confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade, privacidade e segurança. Assim, uma nova etapa de análise de requisitos é necessária para complementar a lista daqueles já identificados. Não obstante, esta nova análise, não fazendo parte do escopo deste trabalho, pode ser revista em um trabalho futuro. Aspectos de segurança

e análise de risco podem ser melhor tratados em (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012b, 2016; NEUREITER, 2014).

5.6 Detalhamento de Perfis

Conforme a descrição da Camada de Informação e a etapa de análise UC (tópicos 5.5.2 e 5.4.1), diversos perfis podem ser identificados e derivados dos modelos canônicos mencionados no item 3.4.3.3. Os perfis relacionados à modelagem com base no CIM ou IEC 61850 são tratados nesta seção. O detalhamento dos demais, principalmente aqueles perfis voltados à Camada de Comunicação e identificados no tópico 5.5.3, podem ser abordados em trabalhos posteriores, uma vez que envolvem o estudo de caso de alguma subestação em particular a fim de determinar as possíveis implementações e seus requisitos.

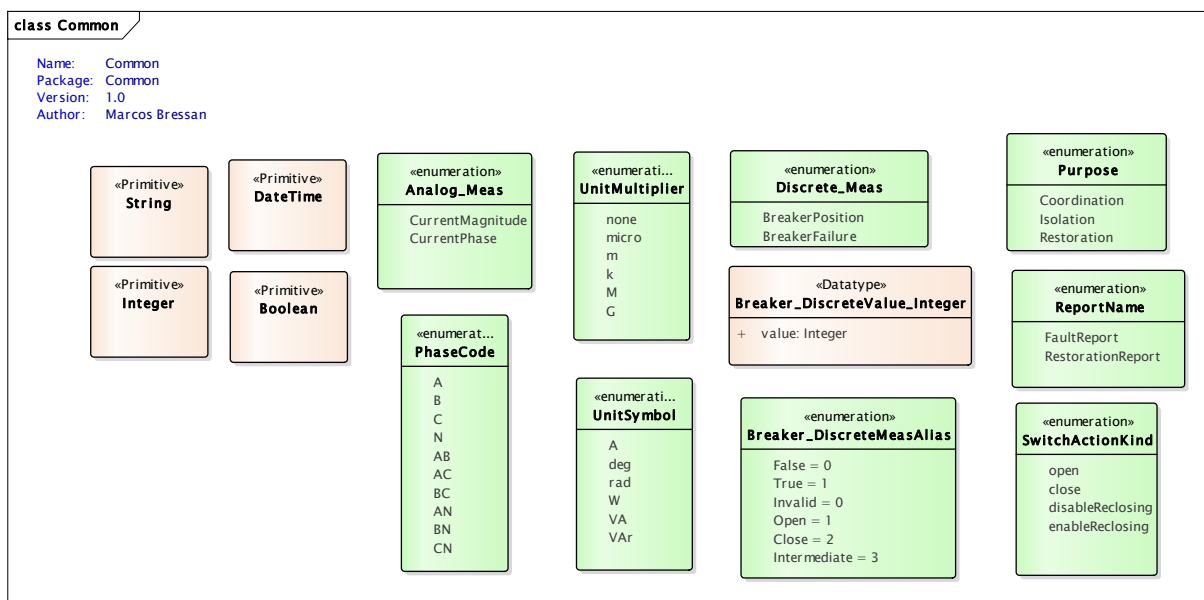
5.6.1 *Perfis CIM*

O CIM é adotado como modelo semântico pelos agentes internos, sendo aplicado à modelagem de seis tipos de objeto de informação. Cada classe de objeto é então associada a um perfil CIM distinto, que especifica o contexto em que ele é trocado:

- (I-B-a): *Outage*
- (I-B-b): *SwitchingPlan*
- (I-B-c): *Negotiation*
- (I-B-d): *Proposal*
- (I-B-e): *FaultReport*
- (I-B-f): *RestorationReport*

Conformemente ao procedimento de criação de perfis relatado no tópico 3.6.1, estes perfis são contextualizados e descritos nos itens a seguir. As serializações de cada um destes modelos de informação em XML, geradas pelas ferramentas *Modsarus Data Flow* e *CIM EA*, estão presentes no Anexo E. A Figura 47 apresenta o diagrama contendo os tipos de dados comuns a dois ou mais perfis, e por isso são reunidos em um só ficheiro *common.xsd* no Anexo E.

Figura 47 – Tipos de dados comuns aos perfis



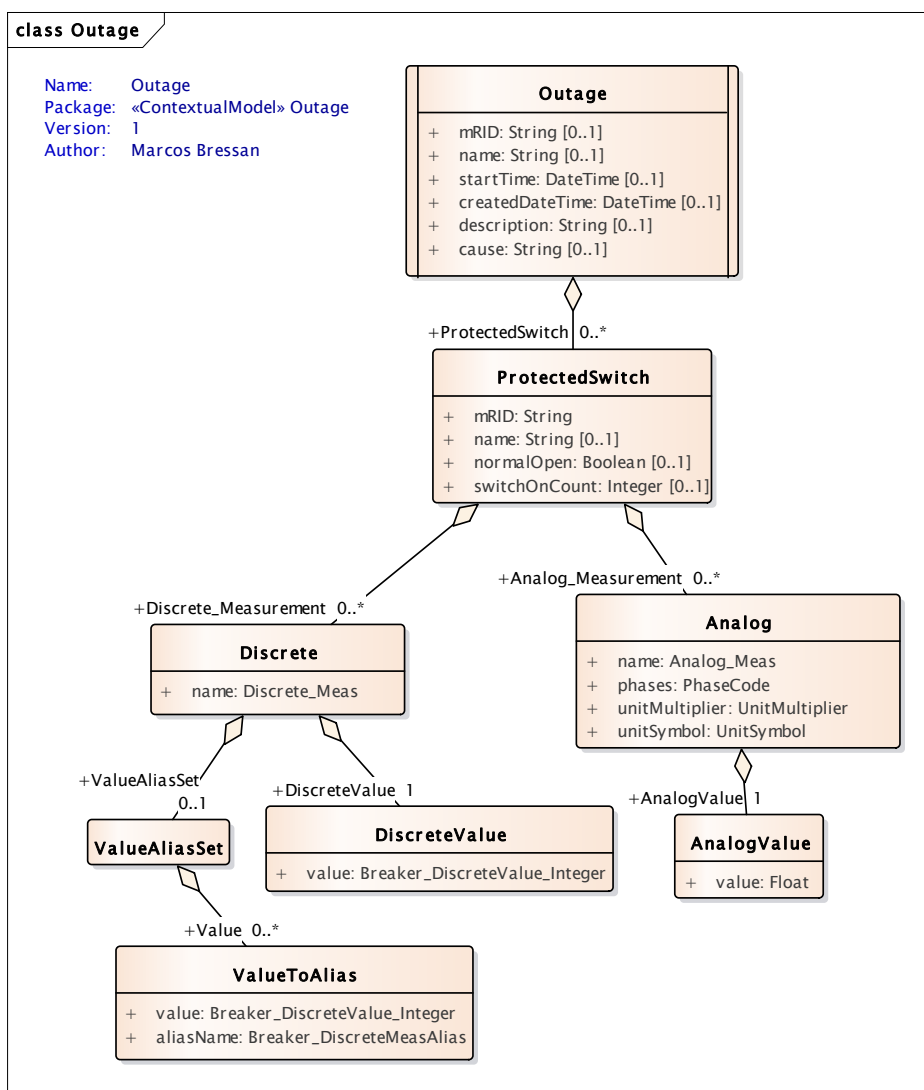
Fonte: O próprio autor

5.6.1.1 Outage

O modelo de informação outage, ilustrado na Figura 48, modela o objeto enviado por um Agente de Comunicação (ACom) ao Agente de Diagnóstico e Configuração (ADC)s ao receber informes de um ou mais IEDs. No caso mais simples, somente um IED é associado a cada ACom, entretanto, o modelo criado pode ser usado também para o caso de múltiplos IEDs.

A classe raiz outage reúne metadados acerca do documento, como data de criação e a data em que o primeiro evento foi detectado. Cada elemento ProtectedSwitch representa um dispositivo de interrupção (como um disjuntor, chave motorizada, seccionizador ou religador) protegido (com IED associado)²⁴. Por sua vez, este elemento pode conter medições do tipo discreta (como posição da chave) ou analógica (fase ou magnitude da corrente de pré-falta). Por critério de concepção do CIM, medições discretas devem ser sempre representadas por valores inteiros. Dessa forma, opcionalmente, um mapeamento valueAliasSet de valores inteiros a valores em texto pode ser enviado juntamente com o objeto.

²⁴ O código 0..* no diagrama de classes UML representa multiplicidade variando de zero a infinito (virtualmente sem limite superior de elementos).

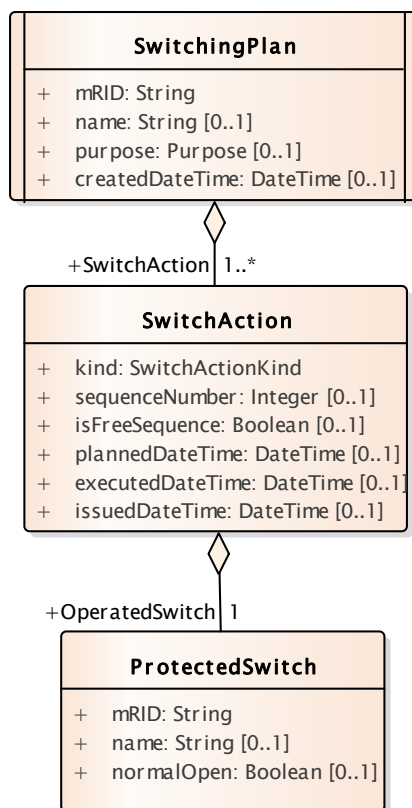
Figura 48 – Modelo de informação *outage*

Fonte: O próprio autor

5.6.1.2 SwitchingPlan

O perfil `switchingplan` (ver Figura 49) modela comandos enviados pelo ADC a um ACom relativos a abertura ou fechamento de uma sequência ordenada de chaves. Cada elemento `switchAction` dentro da raiz `switchingPlan` representa uma ação atômica a ser executada em uma chave (`ProtectedSwitch`).

Figura 49 – Modelo de informação
switchingplan



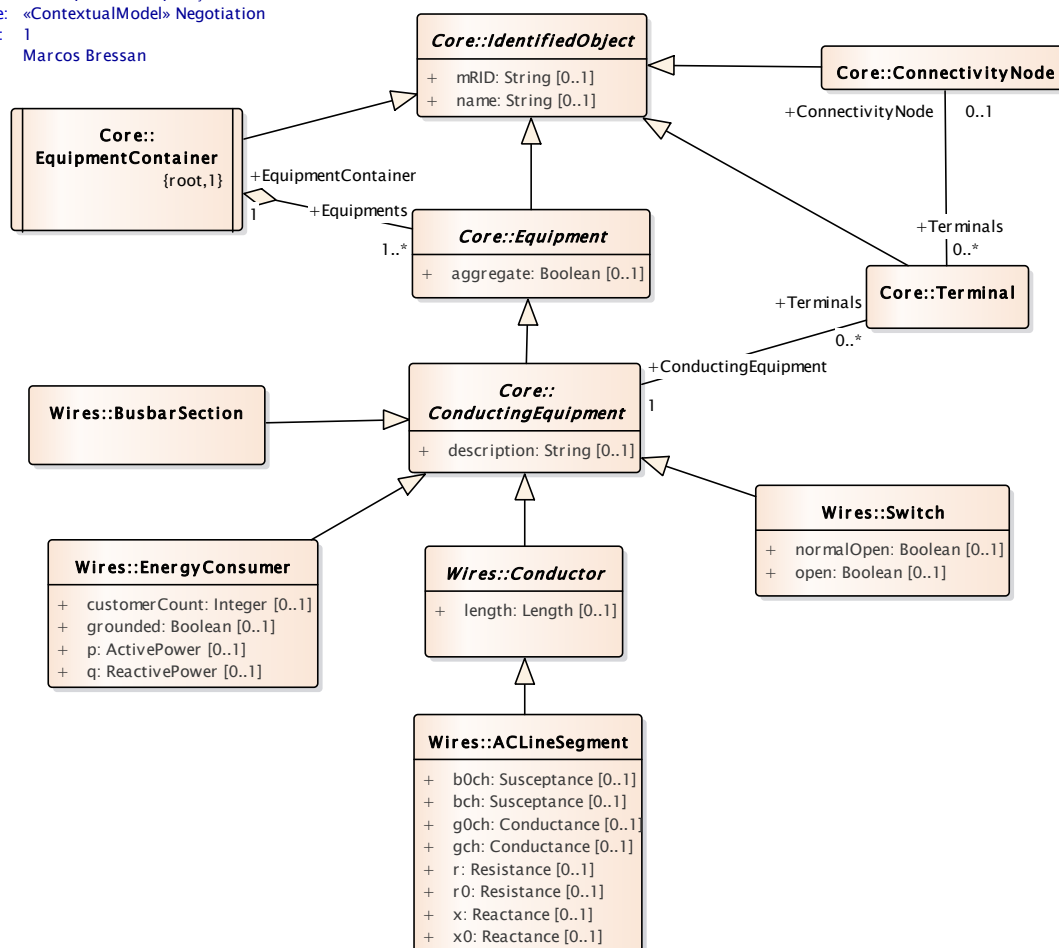
Fonte: O próprio autor

5.6.1.3 Negotiation

O modelo de informação negotiation, mostrado na Figura 50 representa um ou mais setores desenergizados após a eliminação de uma falta, como ilustrado na Figura 51. Eles são encaminhados do ADC ao AN para que seja negociado com ADCs de subestações vizinhas.

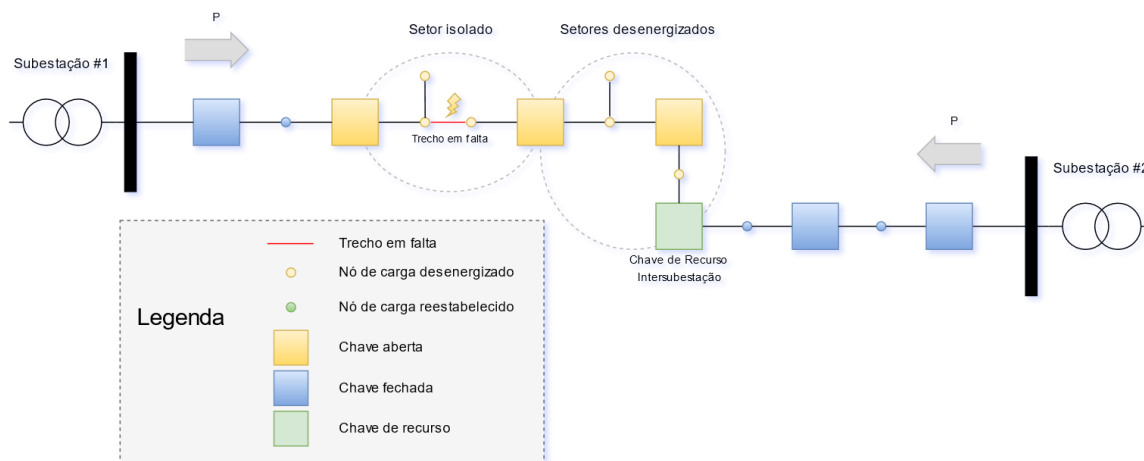
Figura 50 – Modelo de informação *negotiation*

Name: Podas para recomposição
 Package: «ContextualModel» Negotiation
 Version: 1
 Author: Marcos Bressan



Fonte: O próprio autor

Figura 51 – Exemplo de cenário com setor defeituoso isolado

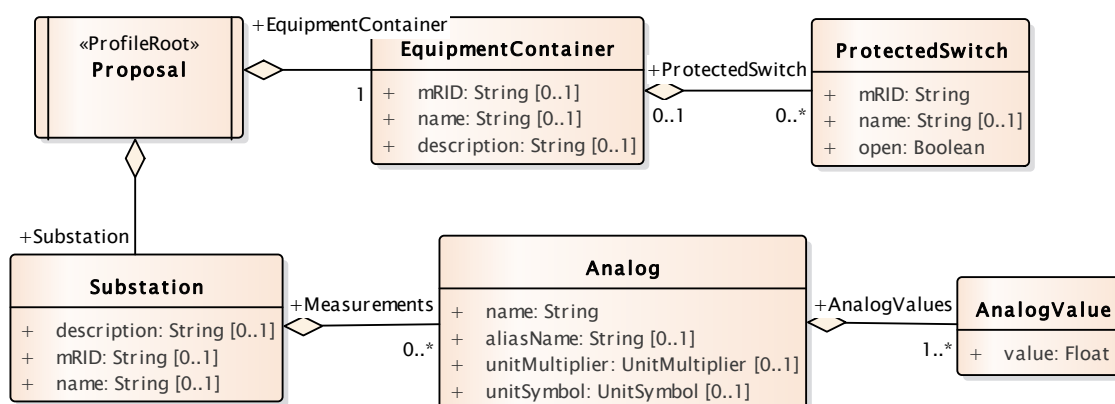


Fonte: O próprio autor

5.6.1.4 Proposal

A proposta de recomposição é identificada pelo modelo de informação *proposal* (Figura 52). Ela é enviada pelo ADC ao AN de uma subestação vizinha quando solicitado. Como critério de seleção para propostas mutuamente exclusivas (pertencentes a ADCs de subestações diferentes), o carregamento total calculado da subestação (após recomposição) também é encaminhado. Em uma versão futura, este critério pode ser substituído por um custo marginal pelo serviço de flexibilidade e pelo consumo de energia, por exemplo. A extensão do trecho que pode ser servido é determinada pelas referências às chaves (mRID em ProtectedSwitch) contidas no objeto *negotiation* (modelo de informação do item anterior) e sua propriedade booleana *open* (que determina se esta deve permanecer fechada ou aberta). Desta forma, é possível enviar uma proposta de recomposição total ou parcial.

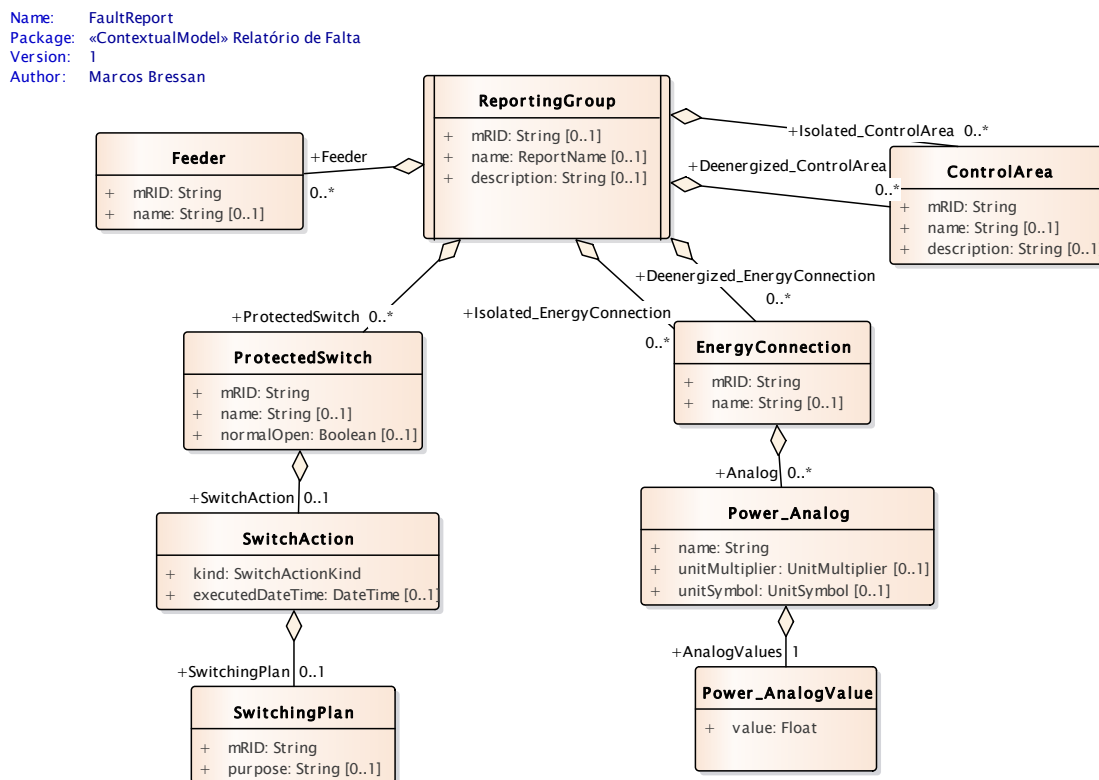
Figura 52 – Modelo de informação *proposal*



Fonte: O próprio autor

5.6.1.5 FaultReport

O relatório de falta *faultreport* (Figura 53) descreve informações referentes a um evento de falta, o alimentador impactado (Feeder), a lista de chaves acionadas (ProtectedSwitch) para eliminação de falta, restabelecimento de coordenação e isolamento da falta e os setores isolado (Isolated_ControlArea) e desenergizado (Deenergized_ControlArea). É elaborado e atualizado e disponibilizado ao operador do sistema pelo ADC.

Figura 53 – Modelo de informação *faultreport*

Fonte: O próprio autor

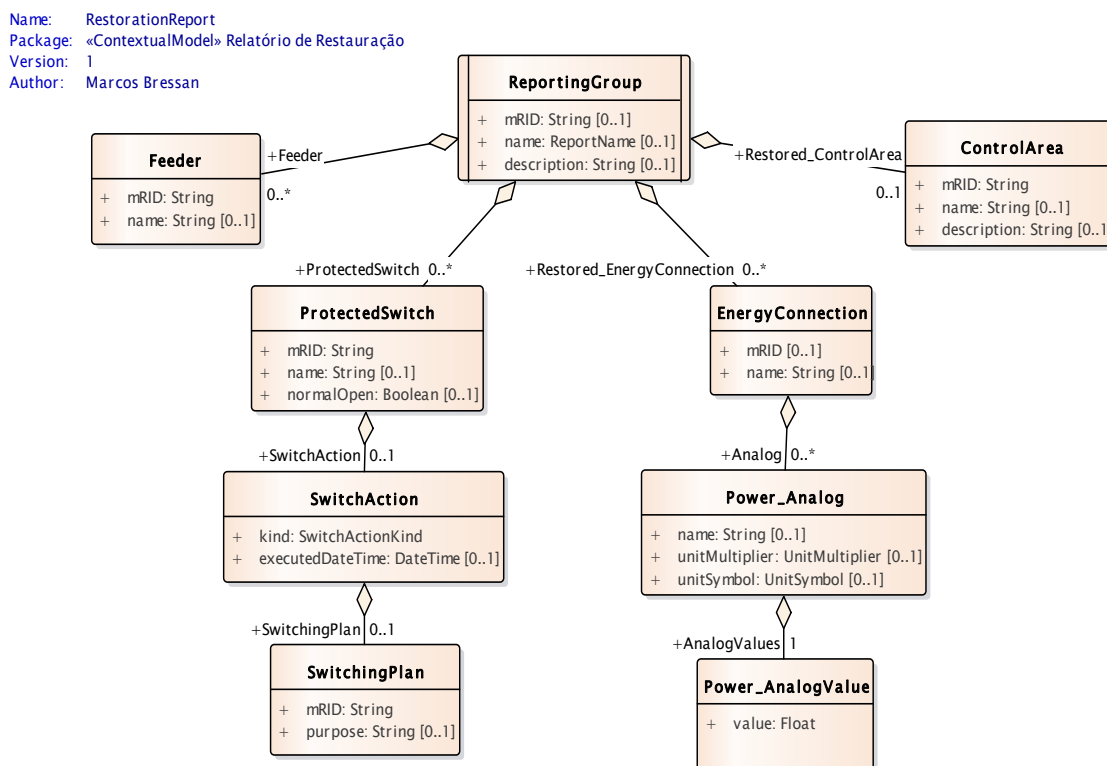
5.6.1.6 RestorationReport

Relatório de restauração RestorationReport (Figura 54) é gerado pelo ADC em duas situações semelhantes:

1. Após a restauração parcial ou integral de um trecho da rede elétrica alimentada pela própria subestação por meio de um outro alimentador da mesma subestação. Neste caso, o relatório é diretamente arquivado para ser disponibilizado ao operador do sistema;
2. Após a restauração parcial ou integral de um trecho de uma rede elétrica sob controle de outra subestação, para a qual se forneceu o serviço de recomposição por meio de negociação. Dessa forma, ao término de suas ações, o ADC deve arquivar o relatório para o próprio operador e fornecer uma cópia ao AN solicitante. O AN pode a seguir agregar informações adicionais a este arquivo antes de disponibilizá-lo ao ADC da própria subestação, como os critérios que adotou para a seleção das propostas de recomposição. Por fim, ADC recebe o arquivo, atualiza o estado interno da sua rede e arquivar o relatório para o acesso do operador de sua subestação.

O relatório reúne elementos referentes ao setor recomposto (*Restored_ControlArea*), às chaves acionadas (*ProtectedSwitch*), aos nós de carga reenergizados (*Restored_EnergyConnection*) e ao alimentador acometido (*Feeder*).

Figura 54 – Modelo de informação *restorationreport*



Fonte: O próprio autor

5.6.2 Perfis IEC 61850

Dois objetos de informação são derivados com base no modelo de informação da série IEC 61850. São eles:

- (I-A1-a): IED Dataset
- (I-A2-b): IED Command

O modelo de dados da IEC 61850 possui uma estrutura hierárquica. Cada nó lógico consiste em um objeto de dados, que por sua vez é um contêiner de objetos, cujos atributos podem ser outros objetos de dados ou variáveis primitivas (HUANG, [s.d.]). Assim, cada chave está contida numa árvore de elementos, os quais podem pertencer a diferentes classes. Os modelos de informação dos itens a seguir foram construídos com auxílio do *Enterprise Architect*, com base nas partes 7-2, 7-3 e 7-4 da série IEC 61850.

5.6.2.1 IED Dataset

Este perfil descreve o objeto enviado por um IED de proteção ao Agente de Comunicação na ocorrência de uma falta. Ele é descrito por Sampaio (2017b, p. 150) no formato de *dataset* `dset01`, tipo *buffered*. A Tabela 13 reúne conjunto de dados contido no objeto, enquanto a Figura 55 ilustra o modelo de informação modelado no *Enterprise Architect*.

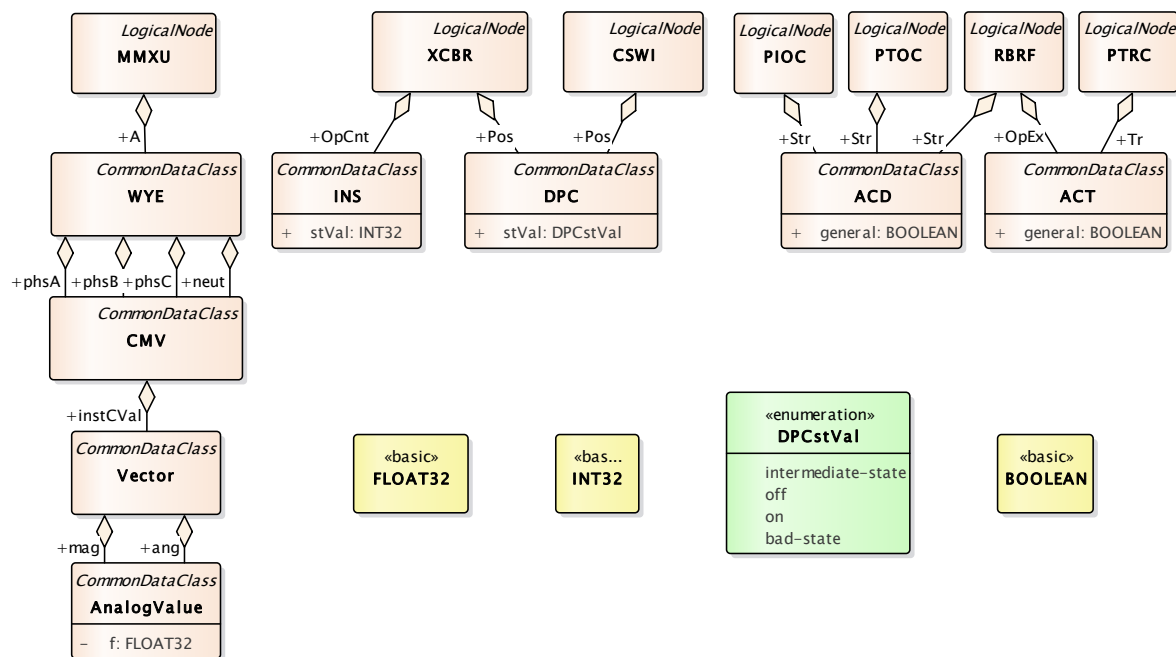
Tabela 13 – Modelo de informação IED Dataset

Nó Lógico	Árvore de dados/atributos				Descrição
MMXU	A	phsA	instCVal	mag f	Magnitude da corrente de falta (fase A)
				ang f	Ângulo da corrente de falta (fase A)
		phsB	instCVal	mag f	Magnitude da corrente de falta (fase B)
				ang f	Ângulo da corrente de falta (fase B)
		phsC	instCVal	mag f	Magnitude da corrente de falta (fase C)
				ang f	Ângulo da corrente de falta (fase C)
		neut	instCVal	mag f	Magnitude da corrente de falta (neutro)
				ang f	Ângulo da corrente de falta (neutro)
PIOC	Str	general			Atuação da função de sobrecorrente instantânea
PTOC	Str	general			Atuação da função de sobrecorrente temporizada
PTRC	Tr	general			Atuação do condicionador de <i>trip</i> (interno)
RBRF	Str	general			Falha no disjuntor
	OpEx	general			<i>Trip</i> externo enviado a outro disjuntor
CSWI	Pos	stVal			Estado da unidade de controle
XCBR	Pos	stVal			Estado real do disjuntor
	OpCnt	stVal			Contagem de <i>trips</i>

Fonte: (SAMPAIO, 2017b)

Os nós lógicos PTOC (*AC time overcurrent protection*) e PIOC (*instantaneous overcurrent protection*) são previamente configurados para desencadearem a atuação da proteção por meio dos atributos PTOC.op e PIOC.op. O disparo da proteção é gerenciado pelo nó PTRC (*protection trip conditionning*). Esta função, quando habilitada (pelo atributo PTRC.op), envia um comando de abertura de chave à unidade de controle CSWI (*switch controller*) na ocorrência da atuação das funções de proteção temporizada ou instantânea. O controlador, por sua vez, é o responsável por alterar do estado do disjuntor, valor este refletido no nó XCBR (*circuit breaker*), que guarda a informação da posição atual do equipamento.

Figura 55 – Diagrama de classes do modelo de informação IED Dataset

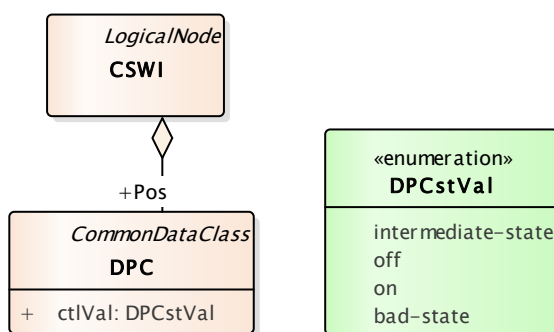


Fonte: O próprio autor

5.6.2.2 IED Command

Uma vez que toda a complexidade de agendamento e ordenamento de comandos é gerenciada pelos agentes de Diagnóstico e Configuração (ADC) e de Comunicação (ACom), o modelo que representa o objeto de informação de acionamento de chaves apresenta uma estrutura simples (Figura 56). No caso de um comando IEC 61850 do tipo operate(), a modificação é feita unicamente no atributo Pos.ctlVal (nó lógico CSWI), que representa o novo estado desejado para a posição da chave.

Figura 56 – Diagrama de classes do modelo de informação IED Command

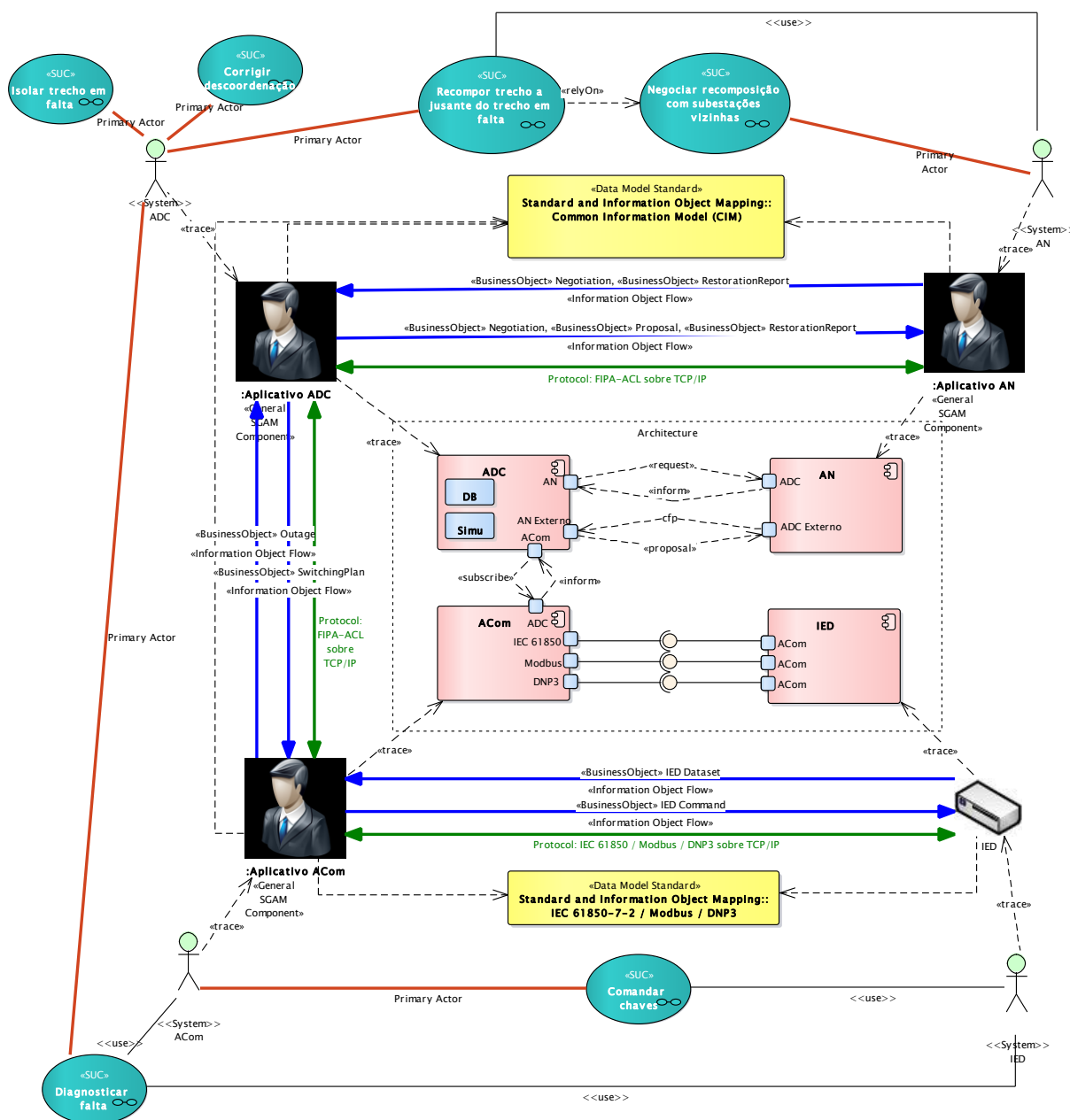


Fonte: O próprio autor

5.7 Design de Componentes e Interfaces

Para especificação dos componentes e de suas interfaces, o diagrama da Figura 57 foi desenhado. Ele reúne todos os componentes, atores e UCs relevantes para SMRA. Os atos comunicativos segundo o padrão FIPA também foram indicados no diagrama como forma de representação dos protocolos de interação: o par *subscribe-inform* representa o protocolo *FIPA Subscribe*, o par *cfp-proposal* representa o *FIPA Contract Net* e o par *request-inform* representa *FIPA Request*.

Figura 57 – Diagrama de caixa-branca dos componentes



Fonte: O próprio autor

5.8 Implementação

Na fase de Implementação, uma ou mais arquiteturas propostas são desenvolvidas. A programação deve, entretanto, ser precedida do *design* dos componentes, com o objetivo de identificar interfaces e funções. O paradigma indicado para abordagem a sistemas com inteligência distribuída é tratado na seção 2.6 com sistemas multiagentes. Alguns detalhes relativos às especificidades deste paradigma ao longo do ciclo de vida de desenvolvimento são descritos a seguir.

Este tópico lida com algumas soluções de *software* abordadas e já aplicadas por autores como Barbosa (2017), Melo (2015; 2019), Sampaio, F. (2017a) e Sampaio, R. (2017b) por meio de sistemas multiagentes. Não tem intenção, portanto, de prover uma implementação original própria, mas somente de fornecer indicações do que já foi adotado para que seja implementada a arquitetura proposta nas fases anteriores.

5.8.1 Detalhes de Implementação para Sistemas Multiagentes

Esta seção tem por objetivo fornecer subetapas a serem acrescentadas ou detalhadas na metodologia geral, inspiradas no trabalho de Sampaio (2017b). Os tópicos a seguir são orientados ao desenvolvimento de sistemas multiagentes padrão FIPA, tendo como base a metodologia já apresentada.

5.8.1.1 Atores de Sistema vs. Agentes

A correspondência entre atores de sistema e agentes é direta, e os objetivos dos agentes podem ser comparáveis aos objetivos dos atores de negócios. Para isso, entretanto, os objetivos dos agentes devem ser suficientemente detalhados de modo a permitir a definição de suas medidas de desempenho (ver 2.6.1). Restrições de ações podem ser previamente apontadas como requisitos funcionais na descrição dos *Use Cases*, enquanto suas funções objetivo podem ser declaradas também como KPIs (*Key Performance Indicators*) dos UCs dos quais os agentes participam.

A concepção de alguns dos agentes pode, opcionalmente, considerar a existência de componentes comuns em redes elétricas, como aqueles mencionados no item 3.4.3.5. Desta forma, a função destes dispositivos é atribuída a agentes inteligentes, que exercem o papel do

equipamento ao mesmo tempo em que integram uma rede de comunicação com outros agentes sob protocolos de sistemas multiagentes.

5.8.1.2 *Interação entre agentes*

Os protocolos de interação FIPA (ver seção 3.7.2) podem ser inicialmente identificados na fase de desenvolvimento dos *Use Cases*, por meio da análise dos requisitos de comunicação entre atores de sistema. A seguir, devem ser confirmados na fase de *design* dos componentes e finalmente aplicados ao longo da implementação. A sequência de mensagens deve ser considerada na realização dos testes de conformidade e interoperabilidade.

5.8.2 *Plataforma de Agentes*

Seguindo as mesmas diretrizes de Barbosa (2017), Sampaio, F. (2017a) e Sampaio, R. (2017b), optou-se pela implementação do SMRA com auxílio do PADE. O PADE, por sua vez, adota um conjunto particular de opções (um *perfil*) da série de normas da FIPA. Uma destas especificações trata da forma de serialização das mensagens ACL destinadas às trocas de informação entre agentes, e dos protocolos de comunicação empregados para o endereçamento e transporte destas.

Dentro do PADE, a classe denominada *ACLMessage* modela as instâncias de mensagens ACL, permitindo a modificação de todos os campos do cabeçalho previstos no padrão FIPA (mostrados na Tabela 10). Os campos *ontology* e *content* são os de maior interesse para o desenvolvedor durante a fase de programação da lógica dos agentes: enquanto *content* carrega a informação útil a ser transmitida (ou *payload*) de um agente a outro, o campo *ontology* consiste em um metadado que identifica a ontologia que modela a informação transmitida. Para que possa ser enviada através da rede, a mensagem ACL é serializada no formato XML seguindo as especificações FIPA (2002c).

5.8.3 *Serialização dos Objetos de Informação CIM*

A adoção de XML como linguagem para serialização de objetos de informação se torna conveniente frente à serialização em XML implementada no PADE para os pacotes de mensagens ACL. Assim, os objetos de informação que constituem o conteúdo das mensagens trocadas entre agentes podem ser naturalmente inseridos à hierarquia de elementos do documento XML como um elemento filho interno ao campo *content* do envelope ACL, como

mostrado na Figura 58. A natureza do objeto de informação anexado, ou seja, a ontologia que descreve a sua estrutura e define o propósito do seu conteúdo, deve ser indicada no campo `ontology` no cabeçalho da mensagem ACL, de forma que o agente destinatário reconheça o conteúdo com o qual está lidando.

Figura 58 – Exemplo de objeto de informação inserido na árvore XML da mensagem ACL

```
<?xml version="1.0"?>
<ACLMessage date="01/09/2015 as 08:58:03:113891">
  <performative>inform</performative>
  <sender> agente_remetente@192.168.0.99:8001</receiver >
  <receivers>
    <receiver>agente_destino@192.168.0.100:8000</receiver>
  </receivers>
  <reply-to />
  <language />
  <encoding />
  <protocol>fipa-request protocol</protocol>
  <conversationID>b2e806b8-50a0-11e5-b3b6-e8b1fc5c3cdf</conversationID>
  <reply-with />
  <in-reply-to />
  <reply-by />
  <ontology>Outage</ontology>
  <content>
    <Outage xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns="grei.ufc.br/smad">
      <mRID>mRID1</mRID>
      <name>name1</name>
      <startTime>1900-01-01T01:01:01.0000000-03:00</startTime>
      <cause>InstantaneousOvercurrent</cause>
      <OpenedSwitch>
        <mRID>switch251</mRID>
        <normalOpen>true</normalOpen>
        <switchOnCount>1</switchOnCount>
        <Measurement xsi:type="Analog_Type">
          <name>CurrentMagnitudo</name>
          <phases>A</phases>
          <unitMultiplier>k</unitMultiplier>
          <unitSymbol>A</unitSymbol>
          <AnalogValues><value>11.2</value></AnalogValues>
        </Measurement>
      </OpenedSwitch>
    </Outage>
  </content>
</ACLMessage>
```

Fonte: O próprio autor

Para a maior parte dos modelos de informação, como o da Figura 58, é possível padronizar a estrutura de dados de forma hierárquica, definindo quais elementos devem ou não aparecer na árvore XML, a multiplicidade da ocorrência desses elementos e de subelementos e os tipos de dados esperados para o valor de cada campo. Tais regras de estruturação de uma

família de documentos XML podem ser expressas por meio de um esquema XML, ou XSD, conforme o tópico 3.6.3.

No caso de objetos que incluem uma relação bidirecional e não hierárquica entre duas classes, como a representação de dois dispositivos conectados entre si em uma rede elétrica, a representação do modelo de informação por meio de XSD torna-se inviável. Para contornar o problema, é possível representá-lo em RDFS, e utilizar de seu vocabulário para declarar objetos concretos dentro de documentos RDF.

5.8.4 Tratamento dos Objetos de Informação CIM

A leitura das mensagens XML recebidas pode ser realizada tanto com o auxílio de linguagens de consulta XML, como XPath ou SPARQL, quanto por programas que convertem o conteúdo XML em objetos próprios da linguagem de programação utilizada, como objetos *Python* ou *JAVA*.

Para evitar erros de interpretação no lado do agente receptor de uma mensagem ACL que contenha um objeto de informação, o agente deve verificar, nos casos válidos, a validade do conteúdo do objeto de informação recebido. Para isto, ele deve dispor do documento XSD ou RDF relativo à ontologia descrita no campo `ontology`, e utilizá-lo para validar o conteúdo do objeto com alguma biblioteca disponível.

5.8.5 Representação e Simulação da Rede Elétrica

Para representação virtual da topologia da rede elétrica de distribuição e realização de estudos de fluxo de carga da rede, Sampaio (2017b) se utiliza do módulo *MyGrid* (JUREMA, 2019), implementado em *Python*. Esta biblioteca se apoia nas características de grafo das topologias do tipo radial e radial com recurso para representar o sistema de distribuição de uma maneira computacionalmente mais eficiente: a Representação Nó-Profundidade (RNP). A RNP abstrai operações reais de mudança do estado da rede, realizando em vez disso operações de "podagem" (o equivalente virtual à desenergização de um trecho da rede por meio da abertura de uma chave a montante) e "inserção" (equivalente à reenergização de um trecho por meio do fechamento de uma chave aberta).

O propósito da RNP no *Mygrid* é a otimização dos algoritmos para cálculo de fluxo de carga pelo método da varredura direta-inversa e cálculo de corrente de curto-circuito pelo

método das componentes simétricas, que se mostram computacionalmente superiores em RNP que quando aplicados em representações topológicas convencionais.

O Agente de Diagnóstico e Configuração (ADC), como responsável pela manutenção do estado da rede elétrica real e de sua representação virtual, deve ser o único a incorporar em suas bibliotecas o módulo *Mygrid*.

5.8.6 Biblioteca para Comunicação Padrão IEC 61850

No estudo de Sampaio (2017a), o autor utiliza a biblioteca *libiec61850* (ZILLGITH, 2020) para a comunicação entre Agentes de Comunicação e IEDs. A biblioteca implementa as especificações da parte 8-1 da série IEC 61850, que trata do mapeamento dos serviços de comunicação ao protocolo MMS (*Manufactured Message Specification*).

5.9 Teste

A solução implementada é validada na fase de teste, momento em que defeitos de funcionamento e outros problemas são detectados, reportados e corrigidos. A especificação de rotinas de testes pode seguir o modelo de testes reportado pela ETSI e introduzido na seção 3.8. A metodologia apresentada neste trabalho não aborda esta fase, sendo deixada para trabalhos futuros.

5.10 Considerações Finais

A metodologia apresentada neste capítulo aborda todas as fases do ciclo de vida de desenvolvimento de um sistema, a saber: Análise, Especificação, Implementação e Teste. *Use Cases* são a principal ferramenta que toma lugar na fase de Análise, contando com o auxílio das camadas de interoperabilidade superiores do SGAM para identificação e mapeamento de atores de negócios, atores de sistema, objetivos de negócios e funções. Na fase de Especificação, as camadas de interoperabilidade inferiores são então definidas e perfis são identificados e detalhados com base nas normas e padrões selecionados, o que inclui a aplicação do CIM para criação de modelos de informação. Na Implementação a solução proposta é desenvolvida e então verificada na fase de Testes.

Novos ciclos de iteração podem ainda suceder o lançamento de um sistema, considerando novas funcionalidades ou melhorias às existentes. Nestes casos, o

desenvolvimento de sistemas deve priorizar, na medida do possível, a manutenção da compatibilidade com versões anteriores, a fim de não prejudicar a interoperabilidade.

O capítulo tratou também de detalhes acerca da aplicação da metodologia ao Sistema Multiagente de Automação de Distribuição (SMAD), em particular, na modelagem e documentação do módulo de recomposição automática (SMRA) e de seus componentes. Como etapa preliminar, algumas alterações ao projeto original foram propostas e justificadas, de forma a aumentar sua aderência aos padrões de interoperabilidade. A etapa de Implementação contou com uma revisão dos procedimentos implementados por Barbosa (2017) e a proposição de novas soluções que contemplam os perfis identificados e criados durante a fase de Especificação.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A metodologia sugerida neste trabalho se apoia nos relatórios do *Smart Grid Coordination Group* (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a), que, por meio de *Use Cases* e do SGAM, definem recomendações e processos focados no desenvolvimento de sistemas interoperáveis; na documentação de Neureiter (2014), que estabelece paralelos importantes entre o SGAM e o desenvolvimento de sistemas sob a abordagem *Model-Driven Architecture*; e na tese de Sampaio (2017b), que traz contribuições importantes à identificação de requisitos em sistemas multiagentes. A partir da elaboração deste trabalho, espera-se que este forneça contribuições importantes ao processo de construção de sistemas no domínio de Redes Elétricas Inteligentes, de forma a:

- Assegurar a melhoria da confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade de sistemas;
- Manter a construção de sistemas economicamente acessível;
- Acomodar novas tecnologias com sistemas legado;
- Introduzir avanços e eficiências no que concerne a construção de sistemas inteligentes e interoperáveis sob o domínio das Redes Elétricas Inteligentes,
- Pavimentar caminhos para a construção de sistemas interoperáveis, escaláveis e seguros;
- Prover meios para a elaboração de projetos bem estruturados, facilmente compreensíveis e com melhor capacidade de receber contribuições futuras.

A metodologia apresentada foca na resolução das questões de interoperabilidade: especificação detalhada do sistema, adoção de padrões e perfis e realização de testes. Ela reúne procedimentos importantes que devem ser aplicados nas diversas etapas do ciclo de vida de desenvolvimento e se apoia num conjunto selecionado de padrões concebidos por organizações internacionais de normalização, tais como IEC, ISO, IEEE, ETSI e W3C. Além disso, para cada uma das recomendações listadas, buscou-se designar também algumas das ferramentas de *software* que as implementam e facilitam o roteiro do desenvolvimento para projetistas.

A fase de análise do sistema, que procura levantar os requisitos funcionais e não funcionais a partir dos objetivos de negócios, é executada com a aplicação de descrições *Use Case* do sistema em questão, em um modelo de descrição padronizado pela IEC na IEC 62559-2. Este tipo de descrição permite designar as categorias de funcionalidades do sistema,

decompor o sistema em atores responsáveis pelas funções e especificar as diferentes sequências de interações entre estes atores sob uma perspectiva de caixa-preta, facilitando a análise de requisitos. A ferramenta indicada para gerir os *Use Cases* e gerar sua documentação no formato IEC 62559-2 foi *Modsarus Use Cases* (SPARX SYSTEMS, [s.d.]), que funciona no ambiente *Enterprise Architect*.

Outra adoção importante nesta etapa é o HRM (*Harmonised Electricity Market Role Model*). Elaborado pela parceria entre ENTSO-E, EFET e eBIX, o modelo padroniza os atores participantes de um *Business Use Case*, identificando-os pelos papéis que exercem em determinado contexto e não pelo seu nome, o que facilita a comunicação entre partes interessadas e promove a interoperabilidade na Camada de Negócios.

Para a fase de especificação do sistema, em que uma ou mais possíveis arquiteturas são concebidas tendo em vista os requisitos já levantados, a metodologia adota como abordagem a divisão de componentes e funções do sistema nos três eixos do SGAM, além de recomendações do *Smart Grid Coordination Group* para a identificação de normas e padrões para cada uma das camadas de interoperabilidade. Ademais, a *IOP Tool*, recomendada e disponibilizada pelo próprio SGCG, também pode ser utilizada para encontrar padrões disponíveis, filtrando-os por camada, domínio e zona de aplicação. O *add-on* para *Enterprise Architect* chamado *SGAM Toolbox* é indicado para a documentação da fase de especificação.

Ainda na fase de especificação, em particular na definição da Camada de Informação, também é descrito o processo de criação de perfis de informação, que representam modelos de informação aplicados em um contexto específico de conversação entre atores. Cada um dos objetos de informação trocados entre atores é modelado com base em um modelo canônico referente ao domínio em questão. O CIM é indicado como modelo semântico principalmente para intercomunicação entre sistemas nas áreas de gerenciamento de energia (IEC 61970-301), distribuição (IEC 61968-11) e mercado (IEC 62325-301), mas ainda pode ser estendido para outras áreas de aplicação.

Em se tratando da implementação de uma das possíveis arquiteturas definidas, a metodologia apresentada adota uma via que considera ambos os requisitos de comunicação inteligente e descentralizada: sistemas multiagentes baseados em FIPA. Alguns paralelos entre a atribuição de tarefas a agentes sob um sistema multiagente e a atores de sistema mais genéricos são traçados.

A importância da fase de testes é mencionada e estudada com base em relatórios da ETSI, entretanto não é aprofundada neste trabalho, ficando para realizações futuras. Por fim, todos os tópicos que fizeram parte do escopo deste trabalho são aplicados como forma de documentação do projeto do Sistema Multiagente de Recomposição Automática, para servir de base para futuros estudos, melhorias e extensões ao SMAD.

6.1 Aportes do Trabalho

6.1.1 Apresentação e Aplicação do Conceito de Perfil

Qualquer implementação concreta de um padrão requer especificações adicionais que restringem as opções deixadas abertas; perfil é o nome dado ao documento que define a seleção de um subconjunto coerente e não ambíguo deste padrão. Ter em mente a definição e a importância de perfis bem especificados é um passo essencial para evitar inconsistências entre padrões e assegurar a interoperabilidade de sistemas.

6.1.2 Forma de Apresentação de Projetos de Sistemas REI

A aplicação de cada componente da metodologia provê uma maior organização, hierarquização e padronização do projeto. Ela permite comunicar informações importantes de maneira efetiva entre diferentes partes interessadas, identificar lacunas de padronização, facilitar e otimizar o processo de desenvolvimento de sistemas.

6.1.3 Formalização dos Objetos de Informação CIM

A definição dos perfis CIM na aplicação SMRA do SMAD constitui uma contribuição direta à melhoria do quesito de interoperabilidade do sistema, uma vez que especifica detalhadamente o conteúdo e o formato dos dados trocados entre atores. Os artefatos gerados em XSD e RDF, correspondentes aos modelos de informação derivados do CIM, representam tanto uma documentação formal das interfaces de comunicação entre os componentes do sistema quanto um documento legível por máquinas para validação das instâncias de mensagem recebidas e enviadas.

6.2 Trabalhos Futuros

Esta seção final lista alguns dos estudos que podem dar sequência a este trabalho. Algumas das entradas dizem respeito ao desenvolvimento da metodologia apresentada, que foi o foco deste relatório; outros tópicos servem como caminhos para a aplicação da metodologia de forma mais detalhada dentro do escopo do Sistema Multiagente de Automação da Distribuição.

6.2.1 *Detalhes na Descrição dos Use Cases*

Diversas atividades podem dar prosseguimento à especificação detalhada do Sistema Multiagente de Recomposição Automática. Estes pontos são identificados a seguir.

6.2.1.1 *Detalhes no Preenchimento de Tópicos*

Alguns dos tópicos do modelo IEC 62559-2 devem ser especificados com mais detalhes para evitar disparidade entre as fases de análise, especificação e implementação. Dentre eles, estão:

- Identificação de demais requisitos do sistema, com base nas categorias recomendadas no tópico 3.3.2, sobretudo em relação aos aspectos de Segurança e Privacidade, que podem ser abordadas com referências a (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012b, 2016) e à série IEC 62351;
- Listagem de pré-condições, pós-condições e suposições estratégicas para cada cenário de cada UC;
- Descrições mais completas para as narrativas dos UCs;
- Identificação de objetivos secundários e de outros indicadores de desempenho para cada UC.

6.2.1.2 *Cenários Alternativos e Exceções*

Além do cenário principal, que representa usualmente um cenário de sucesso na execução de um *Use Case*, diversos cenários alternativos e de exceção podem vir à tona no curso da execução de um processo, como por exemplo, os cenários que descrevem os passos a serem tomados quando um comando de abertura de chave não for corretamente executado

(cenário de exceção) e como a mensagem de erro deve ser informada, ou que ação deve ser tomada caso um agente não responda a uma determinada requisição.

6.2.2 *Detalhes na Especificação de Perfis*

Os perfis de comunicação catalogados para a fase de especificação do sistema devem ser filtrados por meio de outros critérios ou requisitos de sistema, em função, por exemplo, da acessibilidade a determinadas tecnologias ou a existência prévia de uma arquitetura legada. Eles devem ser detalhados a fim de evitar ambiguidades nas opções dos padrões selecionados e garantir o funcionamento do sistema como previsto.

Em relação a perfis de informação, é possível que sejam substituídos por outros desenvolvidos por grupos de usuários ou organizações de padronização, uma vez que estes últimos geralmente são submetidos a exaustivos testes de interoperabilidade antes de serem publicados. Uma alternativa é o desenvolvimento de perfis mais específicos a um projeto com base nestes perfis publicados, de forma a tirar vantagem das experiências e expertises de grupos de usuários especializados.

6.2.3 *Inclusão de Detalhes de Fase de Testes para Sistemas Multiagentes*

Como a fase de testes ainda não foi especificada neste trabalho, ela deve ser incluída, com atenção especial à realização de testes sob o paradigma de sistemas multiagentes. Modelos mais completos de ciclos de desenvolvimento, como o modelo-V, podem estender o modelo atual a fim de tratar fases adicionais de teste, podendo ainda modelá-los com base em *Use Cases* de teste. O relatório do SG-CG (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014a, cap. 9) pode ser usado como base para a especificação desta fase.

6.2.4 *Abordagem dos Demais Use Cases do SMAD*

Aos moldes da metodologia explanada e aplicada neste trabalho, trabalhos futuros podem incluir a especificação detalhada dos demais módulos do Sistema Multiagente de Automação da Distribuição (SMAD) de Raimundo (2017b), de forma a complementar o trabalho desenvolvido neste relatório e harmonizá-lo com os outros subsistemas a nível de reutilização de atores e de requisitos.

6.2.5 Soluções para Comunicação com IEDs de Outras Tecnologias

Neste trabalho foi abordada somente a comunicação de agentes com IEDs compatíveis com as especificações da série IEC 61850. Literaturas podem ser consultadas para permitir o detalhamento dos perfis de comunicação criados e acomodar outras tecnologias comuns no gerenciamento de sistemas de distribuição, como DNP3 ou Modbus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFULL. **Définition de l'interopérabilité**. Disponível em: <<http://interoperability-definition.info/>>. Acesso em: 23 dez. 2019.
- BARBOSA, T. M. Desenvolvimento de um sistema de recomposição automática baseado em sistemas multiagentes para redes de distribuição de energia em média tensão. p. 0–75, 2017.
- BERNERS-LEE, T. **Semantic Web: Why RDF is more than XML**. Disponível em: <<http://www.w3.org/DesignIssues/RDF-XML.html>>. Acesso em: 1 mar. 2020.
- BOSAK, J.; KHARE, R. XML, Java, and the future of the Web. **XML: Principles, Tools, and Techniques**, v. 2, n° 4, p. 219–228, 1997.
- BROOKS, R. A. Intelligence without representation. **Artificial Intelligence**, 1991a.
- BROOKS, R. A. Intelligence Without Reason. **Proceedings of the 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence ({IJCAI}-91)**, 1991b.
- CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **First Set of Standards**, 2012a. Disponível em: <[ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/First Set of Standards.pdf](ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/First_Set_of_Standards.pdf)>
- CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **Smart Grid Information Security**, 2012b. Disponível em: <<ftp://ftp.cen.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/Security.pdf>>
- CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **Sustainable Processes**, 2012c. Disponível em: <http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/xpert_group1_sustainable_processes.pdf>
- CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **Methodologies to facilitate Smart Grid system interoperability through standardization, system design and testing**, 2014a. Disponível em: <ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/SGCG_Interoperability_Report.pdf>
- CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **Smart Grid Reference Architecture**, 2014b. Disponível em: <ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/Reference_Architecture_final.pdf>
- CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **Overview of SG-CG Methodologies Version 3.0**, 2014c. Disponível em:

<ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/SGCG_Methodology_Overview.pdf>

CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **Flexibility Management Overview of the main concepts of flexibility management Version 3.0**, 2014d. Disponível em: <ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/SGCG_Methodology_FlexibilityManagement.pdf>

CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **SGAM User Manual - Applying, testing & refining the Smart Grid Architecture Model**, 2014e. Disponível em: <ftp://ftp.cencenelec.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/SGCG_Methodology_SGAMUserManual.pdf>

CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **Cyber Security & Privacy**, 2016.

CEN/CENELEC/ETSI SG-CG. **Smart Grid Set of Standards Version 4.1 draft**, 2017.

CLINE, M. **C++ FAQ: “What’s this ‘serialization’ thing all about?”** Disponível em: <<https://isocpp.org/wiki/faq/serialization#serialize-overview>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

CNE. **Les microgrids / Introduction**. Disponível em: <<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=microgrids>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

COCKBURN, A. **Writing Effective Use Cases**. v. 3, 2000.

CONSTANTINE, L. L.; LOCKWOOD, L. A D. **Software for use: a practical guide to the models and methods of usage-centered design** SIGCHI Bulletin, 1999.

CRE. **L’infrastructure de recharge**. Disponível em: <<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-recharge>>. Acesso em: 1 mar. 2020a.

CRE. **L’impact sur les réseaux électriques**. Disponível em: <<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=vehicules-electriques-impact-reseaux>>. Acesso em: 1 mar. 2020b.

CRE. **Les dossiers**. Disponível em: <<http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=dossiers>>. Acesso em: 1 mar. 2020c.

CSANYI, E. **Smart Grid Concept and Characteristics**. Disponível em: <<https://electrical-engineering-portal.com/smart-grid-concept-and-characteristics>>. Acesso em: 7 mar. 2020.

DAUN, H. **School decentralization in the context of globalizing governance: International comparison of grassroots responses**. [s.l: s.n.].

DESCANT, S. **San Francisco Rolls Out Dynamic Parking Rate Model**. Disponível em: <<http://www.govtech.com/fs/automation/San-Francisco-Rolls-Out-Dynamic-Parking-Rate-Model.html>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

EC DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY. Standardization Mandate to European Standardisation Organisations (ESOs) to support European Smart Grid deployment. p. 1–8, 2011.

ENERGYSAVE. **Pros and cons of electric cars**. Disponível em: <<https://www.energysage.com/electric-vehicles/101/pros-and-cons-electric-cars/>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

ENTSO-E; EFET; EBIX. The Harmonised Electricity Market Role Model. p. 1–21, 2019.

ENTSOE. Common Information Model (CIM) - Model Exchange Profile 1. n. June, 2014.

ÉPOCA NEGÓCIOS. **Energia solar “bomba” no Brasil atrai grandes empresas chinesas e startups**. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2020/02/epoca-negocios-especial-energia-solar-bomba-no-brasil-e-atrai-de-gigantes-chinesas-a-startups.html>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

EXAME. **Alto gasto de energia faz UFPR desenvolver usina solar em carport**. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/blog/instituto-millennium/alto-gasto-de-energia-faz-ufpr-desenvolver-usina-solar-em-carport/>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

FIPA. FIPA Communicative Act Library Specification. 2001.

FIPA. FIPA ACL Message Structure Specification. **Online**, p. 11, 2002a.

FIPA. FIPA ACL Message Representation in String Specification. p. 11, 2002b.

FIPA. FIPA Agent Message Transport Envelope Representation in XML Specification. **Architecture**, v. 48, p. 846–853, 2002c.

FIPA. FIPA Agent Message Transport Envelope Representation in Bit-Efficient Encoding Specification. **Architecture**, v. 48, p. 846–853, 2002d.

FIPA. FIPA Subscribe Interaction Protocol Specification. **Architecture**, 2002e.

FIPA. FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification. **Architecture**, n. SC00029H, p. 9, 2002f.

FIPA. FIPA Request Interaction Protocol Specification. **IEEE Computer Society**, p. 1, 2013.

FONTES, G. Energia Solar: 5 perguntas para entender a guerra sobre a “taxação do Sol”. **Gazeta do Povo**, 8 jan. 2020.

GOTTSCHALK, M.; USLAR, M.; DELFS, C. **The Use Case and Smart Grid Architecture Model Approach The IEC 62559-2 Use Case Template and the SGAM Applied in Various Domains**. [s.l: s.n.].

GRUPO RENOVATIO. **¿Quiénes son los Prosumidores de Energía?** Disponível em: <<https://www.gruporenovatio.com/2019/02/quienes-son-los-prosumidores-de-energia/>>.

Acesso em: 1 mar. 2020.

GUARINO, N.; OBERLE, D.; STAAB, S. Handbook on Ontologies. **Handbook on Ontologies**, p. 1–17, 2009.

HENRIOT, A.; GLACHANT, J. M. Design des marchés d’électricité pour l’intégration des renouvelables. **Revue d’Economie Industrielle**, 2014.

HERZOG, A. L. O Brasil na onda das Smart Grids. **Revista Exame**, p. 2013–2015, 2013.

HUANG, W. Learn IEC 61850 Configuration In 30 Minutes. [s.d.].

IEC. **IEC 62559: Use case methodology – Part 2: Definition of the templates for use cases, actor list and requirements list**. [s.l: s.n.].

IEC. **IEC 62559: Use case methodology – Part 1: Concept and processes in standardization**. [s.l: s.n.].

IEEE. 610.12-1990 - IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology. 1990.

IEEE. **The Foundation of Intelligent Physical Agents (FIPA)**. Disponível em: <<http://fipa.org/>>.

ISO/IEC; IEEE. ISO/IEC/IEEE 15288 - International Standard - Systems and software engineering - System life cycle processes. **ISO/IEC/IEEE 15288 First edition 2015-05-15**, 2015.

JACOBSON, I.; ERICSSON, M.; JACOBSON, A. The Object Advantage -- A Business Process Reengineering with ObjectTechnology. **ACM Press**, 1995.

JACOBSON, I.; SPENCE, I.; KERR, B. Use-case 2.0. **Communications of the ACM**, 2016.

JUREMA, L. M. C. Modelagem e implementação de fluxo de carga trifásico e curto-circuito por componentes de fase em redes de distribuição com geração distribuída no aplicativo

computacional MyGrid. 2019.

KMC CONTROLS. **Understanding Building Automation and Control Systems**. Disponível em:

<https://web.archive.org/web/20130519124213/http://www.kmccontrols.com/products/Understanding_Building_Automation_and_Control_Systems.aspx>. Acesso em: 1 mar. 2020.

KOTONYA, G.; SOMMERVILLE, I. **Requirements Engineering : Processes and Techniques** (Worldwide Series in Computer Science). **Star**, 1998.

MANOLA, F.; MILLER, E. **RDF Primer**. 2004.

MCGOVERN, H. **¿Qué es un medidor inteligente?** Disponível em: <<https://www.smartenergy.com/es/que-es-un-medidor-inteligente/>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

MCMORRAN, A. **Common Information Model Primer, Third Edition**. [s.l: s.n.].

MELO, L. S. Desenvolvimento de uma Plataforma para Implementação de Sistemas Multiagentes com aplicação para Recomposição Automática de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. v. 151, p. 10–17, 2015.

MELO, L. S. et al. Python-based multi-agent platform for application on power grids. n. September 2018, p. 1–14, 2019.

NEUREITER, C. Introduction to the “SGAM Toolbox”. v. 43, n. 0.4, p. 1–39, 2014.

NIST. NIST Special Publication 1108 NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards. **Nist Special Publication**, v. 0, p. 1–90, 2014.

OMG. OMG MDA Guide rev. 2.0. **OMG Document ormsc**, 2014.

OMG. **OMG Unified Modeling Language**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.omg.org/spec/UML/%0ANormative:>>.

RIAZ, S. et al. Generic Demand Model Considering the Impact of Prosumers for Future Grid Scenario Analysis. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 1, p. 819–829, 2019.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence—a modern approach 3rd Edition**. [s.l: s.n.].

SAMPAIO, F. C. Sistema Multiagente de Proteção Adaptativa. 2017a.

SAMPAIO, R. F. Sistema de automação distribuído: uma abordagem baseada em multiagente

aplicada a sistemas de distribuição de energia elétrica em média tensão. n. Cd, p. 1–29, 2017b.

SG-CG, C. **Smart Grid Set of Standards Version 3.1**. [s.l: s.n.].

SHOHAM, Y. Agent-oriented programming. **Artificial Intelligence**, 1993.

SPARX SYSTEMS. **Third Party Extensions for Enterprise Architect | Sparx Systems**.

Disponível em: <<https://www.sparxsystems.com/products/3rdparty/frameworks.html>>.

TEIXEIRA MARTINS, P. E.; OLESKOVICZ, M.; DA SILVA PESSOA, A. L. **A Survey on Smart Grids: Concerns, advances, and trends**. 2019 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT Latin America 2019. **Anais...**2019

USLAR, M. et al. **The Common Information Model CIM: IEC 61968/61970 and 62325 - A Practical Introduction to the CIM**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2012.

USLAR, M.; ROSINGER, C.; SCHLEGEL, S. Security by design for the smart grid: Combining the SGAM and NISTIR 7628. **Proceedings - IEEE 38th Annual International Computers, Software and Applications Conference Workshops, COMPSACW 2014**, n. July, p. 110–115, 2014.

VAN DER VEER, H.; WILES, A. **Achieving Technical Interoperability: the ETSI Approach**European Telecommunications Standards Institute. Sophia Antipolis: [s.n.]. Disponível em: <[https://portal.etsi.org/CTI/Downloads/ETSIApproach/IOP whitepaper Edition 3 final.pdf](https://portal.etsi.org/CTI/Downloads/ETSIApproach/IOP_whitepaper_Edition_3_final.pdf)>.

W3C. **XML Schema - W3C**. Disponível em: <<http://www.w3.org/standards/xml/schema>>. Acesso em: 1 abr. 2020.

WILEY, J. **Systems Engineering Handbook: A guide for system life cycle processes and activities**. [s.l: s.n.].

WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to MultiAgent Systems - 2nd Edition**. [s.l: s.n.].

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. Intelligent agents: Theory and practice. **The Knowledge Engineering Review**, v. 10, n. 2, p. 115–152, 1995.

ZILLGITH, M. **libIEC61850 / lib60870-5**. Disponível em: <<https://libiec61850.com/libiec61850/>>. Acesso em: 1 abr. 2020.

ANEXO A - DESCRIÇÃO DETALHADA DOS TÓPICOS DO MODELO USE CASES DA NORMA IEC 62559-2

Os tópicos que compõem o modelo *Use Cases* da IEC 62559-2 são descritos a seguir. As descrições são adaptadas de (GOTTSCHALK; USLAR; DELFS, 2017, p. 14–30; IEC, 2015).

1. Descrição do *Use Case*

Na primeira seção, informações gerais acerca do escopo e dos objetivos do *Use Cases* são descritas.

1.1. Nome do *Use Case*

Neste tópico o UC recebe uma ID única (com formato definido pelos projetistas que deve seguido em todo o projeto), a identificação de sua extensão no plano do SGAM (nos eixos de domínios e zonas) e um nome descritivo e preciso. Um exemplo de preenchimento é mostrado abaixo.

Use Case Identification		
ID	Area Domain(s)/Zones(s)	Name of Use Case
exemplo_01	RED/Operação	Controlar potência reativa de RED

1.2. Gerenciamento de Versões

O gerenciamento de versões do UC pode ser realizado por meio da tabela a seguir. Um formato predeterminado de número de versão deve ser estipulado, e cada nova versão deve ser informada juntamente com a data de submissão, o nome do autor, uma documentação curta das mudanças realizadas e o seu estado de aprovação.

Version Management				
Version No.	Date	Name of Author(s)	Changes	Approval Status
0.1	30/06/1801	Frédéric	Primeira versão	Rascunho
0.2	29/09/1881	Ludwig	Novos diagramas e requisitos	Para discussão
0.3	08/05/1899	August	Adição de novo ator	Para votação
1.0	02/03/1926	Murray	Ajuste da classificação	Final

1.3. Escopo e Objetivos

O escopo descreve em poucas palavras o perímetro ou limites do UC, de forma clara para que não haja dúvidas quanto ao que se encontra dentro e fora dele. Os objetivos devem ser discriminados preferencialmente em formato de lista. *Business Cases* relacionados podem ser listados.

Scope and Objectives of Use Case	
Scope	Monitorar tensão na rede de distribuição, controlar potência reativa de unidade de RED, controle volt/var da rede de distribuição
Objective(s)	Monitorar e controlar tensão da rede de distribuição dentro dos limites tolerados
Related business case	Operação da rede de distribuição

1.4. Narrativa do *Use Case*

Em versões mais básicas e menos cerimoniosas de UCs somente os itens 1 e 2 estão presentes, e é por meio da narrativa que a informação do funcionamento do processo é passada ao leitor. A seção de narrativa, que deve ser escrita de forma a ser entendida por leitores mais leigos, compreende dois campos: uma descrição curta, que deve fornecer uma visão geral do UC sem exceder três frases ou cerca dez linhas, e uma descrição completa, que apresenta uma narrativa mais longa do ponto de vista do utilizador do UC, respondendo perguntas chave como *como*, *onde*, *quando*, *por quê* e *sob quais premissas* o processo deve ocorrer.

Narrative of Use Case
Short description
Descrição curta do UC
Complete description
Descrição completa do UC

1.5. Indicadores de Desempenho (KPI)

Key Performance Indicators são informações objetivas que avaliam o grau de desempenho na realização dos objetivos listados na seção 1.3. A tabela abaixo captura propriedades do KPI como ID (que deve ser única), nome, descrição e objetivos a que faz referência.

Key Performance Indicators			
ID	Name	Description	Reference to mentioned use case objectives
Kpi_1	Desvio de tensão	O nível de tensão deve permanecer dentro da zona tolerável de $\pm 5\%$	Monitorar e controlar tensão da rede de distribuição dentro dos limites tolerados

1.6. Condições do Use Case

Assumptions são pressupostos gerais sobre condições ou configurações do sistema. *Prerequisites* especificam que requisitos devem ser atendidos para que o cenário base do UC possa ser realizado com êxito.

Use Case Conditions	
Assumptions	
IED-Distribuição	Dispositivo configurado e ligado
Prerequisites	
IED-Distribuição	Foi estabelecida conexão entre dispositivos

1.7. Informação Adicional para Classificação/Mapeamento

A seção 1.7 inclui informações para classificação do UC, como sua relação (como de inclusão, extensão, invocação, associação) com outros UCs (do mesmo projeto ou domínio). *Level of depth* trata do grau de especialização do UC. Embora não exigido por norma, geralmente são utilizados termos como *high level use case*, *generic*, *detailed* ou *specialised*. *Prioritisation* permite a classificação do UC desde os mais essenciais até aqueles de menor prioridade ou opcionais. A lista de possíveis valores deve estar em comum acordo com os participantes do projeto. Como UCs podem ser aplicados em áreas submetidas a restrições regulatórias ou outras normas de funcionamento, o campo *generic, regional or national relation* deve ser preenchido com um desses três valores. O campo *Nature of the Use Case* descreve a natureza do UC como técnico, político, comercial/mercado, teste etc. Por fim, *further keywords for classification* traz uma lista adicional de palavras-chave separadas por vírgula que podem ser úteis para classificação do UC.

Classification Information
Relation to Other Use Cases
Controle de chaves, Controle primário
Level of Depth
Specialised Use Case
Prioritisation
Alta
Generic, Regional or National Relation
Genérico
Nature of Use Case
Técnico / System Use Case
Further Keywords for Classification
Controle de REDs, Controle Volt/Var

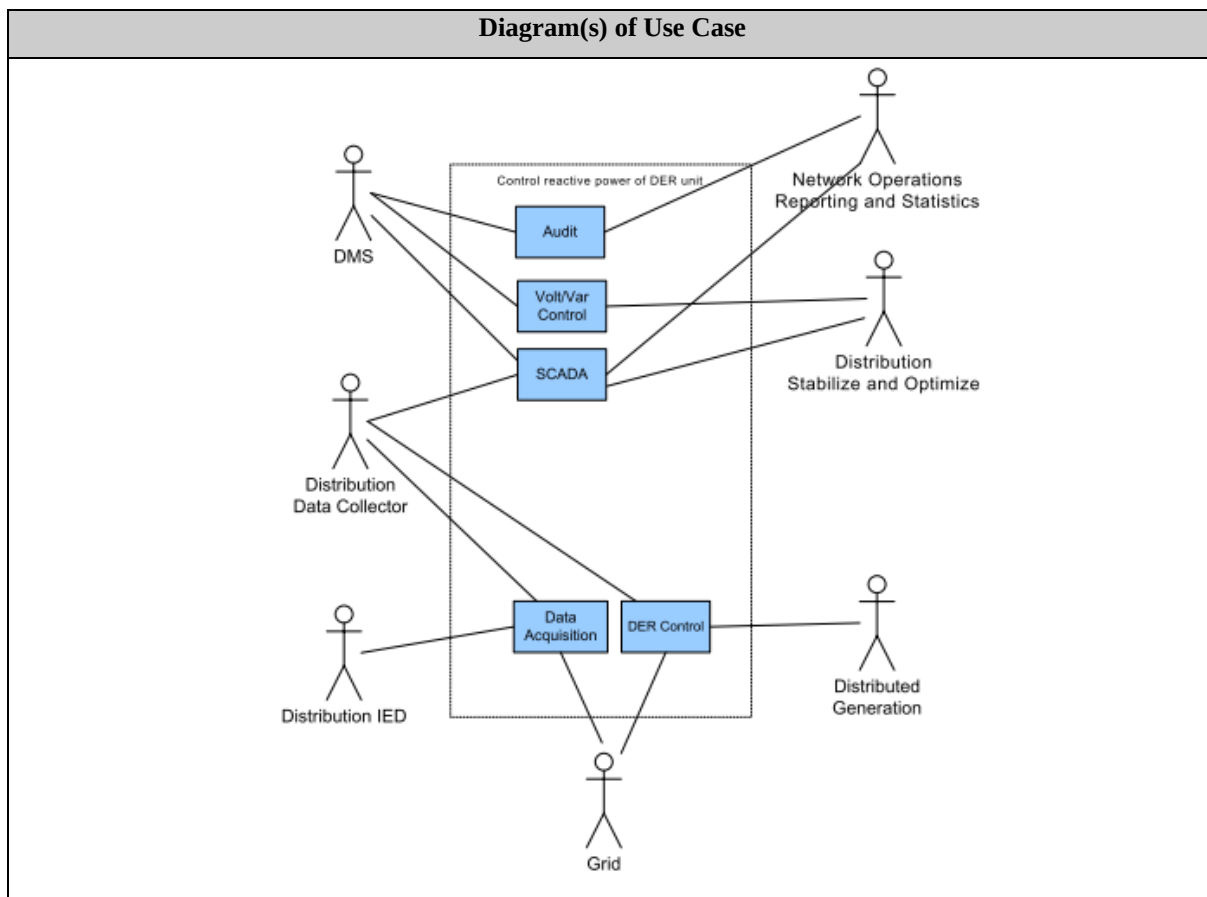
1.8. Observações Gerais

Quaisquer demais observações que não se encaixam nos campos pré-determinados podem ser inseridas em uma lista nesta seção.

General Remarks
Devem ser inseridos maiores detalhes a respeito dos requisitos de comunicação

2. Diagramas do *Use Case*

Diagramas UML de casos de uso, atividades, sequência e interação são utilizados para fornecer um melhor entendimento dos processos que ocorrem dentro do UC. Também são admitidos outros tipos de desenhos.



3. Detalhes Técnicos

3.1. Atores

Autores envolvidos no UC são listados aqui. Eles são separados em grupos de acordo com suas propriedades, e cada grupo recebe um nome e uma descrição que justifica a divisão. Cada ator recebe um nome único, um tipo (como *dispositivo*, *sistema*, *aplicativo* ou *humano*), uma descrição breve e, se necessário, informações suplementares sobre o ator e seu comportamento dentro do UC.

Actors			
“Grouping” (e.g. domains, zones)		Group description	
Dispositivo interno		Compreende todos os equipamentos internos ao sistema e dos quais o sistema possui total controle e acesso	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
Geração Distribuída	Dispositivo	Geração Distribuída (GD), ou Recursos Energéticos Distribuídos (RED), inclui qualquer forma de geração e armazenamento em pequena escala. É contrastada com geração ou armazenamento de eletricidade centralizados de grande porte, geralmente conectados ao sistema de transmissão, com energia vendida em mercados atacadistas e fornecimento de carga de base. [...]	
IED-Distribuição	Dispositivo	Um IED (Intelligent Electric Device) é um controlador com comunicação integrada para monitoramento e controle de dispositivos automatizados em sistemas de distribuição [...]	
Actors			
“Grouping” (e.g. domains, zones)		Group description	
Sistema externo		Compreende todos os equipamentos sobre os quais o sistema não possui controle	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
Rede Elétrica	Sistema	Sistema de Distribuição de Energia Elétrica	

3.2. Referências

Referências a conteúdos externos como sites, publicações, contratos ou normas são enumeradas e listadas em uma tabela contendo as colunas abaixo. Cada uma recebe um nome, uma classificação do tipo (como os mencionados acima), um valor referente ao estado da publicação (por exemplo: rascunho, final), uma avaliação do grau de impacto no UC (alto, médio, baixo), a identificação do seu autor e, caso exista, um *link* de acesso ao seu conteúdo na *web*.

References						
No	Reference Type	Reference	Status	Impact on use case	Originator organisation /	Link

4. Análise Passo-a-passo do Use Case

A descrição dos possíveis cenários do UC é realizada nesta seção, devidamente em acordo com os passos mostrados nos diagramas da seção 2 e logicamente associada à narrativa da seção 1.4. Além do cenário principal, cenários alternativos ou de falha são também inclusos para descrever situações caso o sistema se encontre em estados indesejados ou pré-condições não são satisfeitas.

4.1. Visão Geral dos Cenários

Cada cenário, antes de ter sua análise passo-a-passo descrita na seção 4.2, recebe um número ordinal de identificação, um nome e descrição curta. Geralmente o cenário principal, que indica sucesso, é listado primeiro. A coluna *Primary actor* indica o primeiro ator (pessoa ou sistema) que aparece o cenário e que usualmente provoca a sua execução, evento este identificado na coluna *Triggering event*. *Pre-condition* e *Post-condition* indicam condições que devem ser satisfeitas antes e depois do cenário, respectivamente. Esta última coluna também pode indicar se o cenário terminou com sucesso ou não.

Scenario Conditions						
No.	Scenario Name	Scenario description	Primary actor	Triggering event	Pre-condition	Post-condition
1	Aquisição de dados		IED-Distribuição	Periodicamente		
2	Controle Volt/Var		DMS	Medida de Tensão excede limiar		

4.2. Passos – Cenários

Para cada cenário uma tabela diferente contendo o conjunto sequencial de passos que compõe o seu fluxo de atividades é criada na seção 4.2. O campo *Scenario Name* deve corresponder ao nome adotado na descrição dos cenários na seção 4.1. A listagem dos passos é feita por ordem de execução, devidamente enumerados e com a identificação do evento que o invoca, que geralmente se trata do reconhecimento do êxito na execução do passo anterior. Cada

passo representa um processo ou atividade única, que recebe um nome e uma breve descrição do que ocorre em sua execução. As colunas restantes se interessam pelas informações trocadas em cada passo, se existirem, a saber:

- *Service*: identifica a natureza do fluxo de informações dentre as seguintes possibilidades:
 - GET: o ator *Information Receiver*, ou destinatário, obtém informação do *Information Producer*, ou remetente, após uma solicitação implícita;
 - CREATE: o remetente cria um novo objeto de informação junto ao destinatário;
 - CHANGE: o remetente modifica/atualiza a valor de um objeto previamente existente junto ao destinatário;
 - DELETE: o remetente solicita a supressão de uma informação armazenada junto ao destinatário;
 - CANCEL/CLOSE: um processo é finalizado;
 - EXECUTE: uma ação ou serviço é posto em execução;
 - REPORT: o remetente fornece informação ao destinatário sem solicitação prévia;
 - TIMER: um ator que representa ambos produtor e receptor da informação realiza um período de espera;
 - REPEAT: um número de passos deve ser repetido até que uma condição de parada (identificada no campo *Event*) seja válida. Os passos contemplados devem ser adicionados entre parênteses.
- *Information Producer* e *Information Receiver* são atores previamente listados na seção 3.1.
- Demais campos, *Information Exchanged* e *Requirements*, referem-se a artefatos listados nas seções 5 e 6, identificados através de sua ID.

Scenario								
Scenario Name		Aquisição de dados						
Step No	Event	Name of Process/Activity	Description of Process/Activity	Service	Information Producer (actor)	Information Receiver (actor)	Information Exchange d (IDs)	Requirement, R-IDs
1	Periodicamente	Medição	IED faz medição analógica de tensão	GET	Rede Elétrica	IED-Distribuição	An-V-M	
2	Periodicamente	Envio	IED envia dados de medição de tensão	REPORT	IED-Distribuição	Coletor de Dados de Distribuição	V-M	
3	Periodicamente	Coleta	DDC envia dados de tensão ao DMS	CREATE	Coletor de Dados de Distribuição	DMS	V-M	

5. Informação Trocada

Toda informação e objeto trocados entre atores dentro dos cenários são apresentados nesta seção acompanhados de uma descrição em texto detalhada e precisa. O campo de ID serve como valor de referência para o respectivo objeto em demais seções do UC e, assim como o seu nome, deve ter valor único. O último campo, se necessário, traz a referência a um requisito (listado na seção 6) associado à informação.

Information Exchanged			
Information Exchanged, ID	Name of Information	Description of Information Exchanged	Requirements to information data R-IDs
An-V-M	Analog Voltage Measurement		
V-M	Voltage Measurement		

6. Requisitos (Opcional)

A identificação dos requisitos necessários é feita na seção 6. Os requisitos são agrupados em categorias que recebem um nome, uma descrição curta e uma *Category ID* única. Cada requisito dentro de sua categoria recebe também nome, descrição e *Requirement ID*. As IDs servem como referência textual em outras seções para os requisitos contidos nesta. A IEC 62559-2 também sugere uma lista de categorias de requerimentos que pode ser empregada para melhor organização e padronização do projeto.

Requirements (optional)		
Categories ID	Category Name for requirements	Category Description
Requirement R-ID	Requirement Name	Requirement Description
Requirements (optional)		
Categories ID	Category Name for requirements	Category Description
Requirement R-ID	Requirement Name	Requirement Description

7. Termos Comuns e Definições

Esta seção traz um glossário de termos relevantes mencionados no UC.

Common Terms and Definitions	
Term	Definition
REI	Rede Elétrica Inteligente
SE	Subestação
NA/NF	Normalmente aberto/fechado

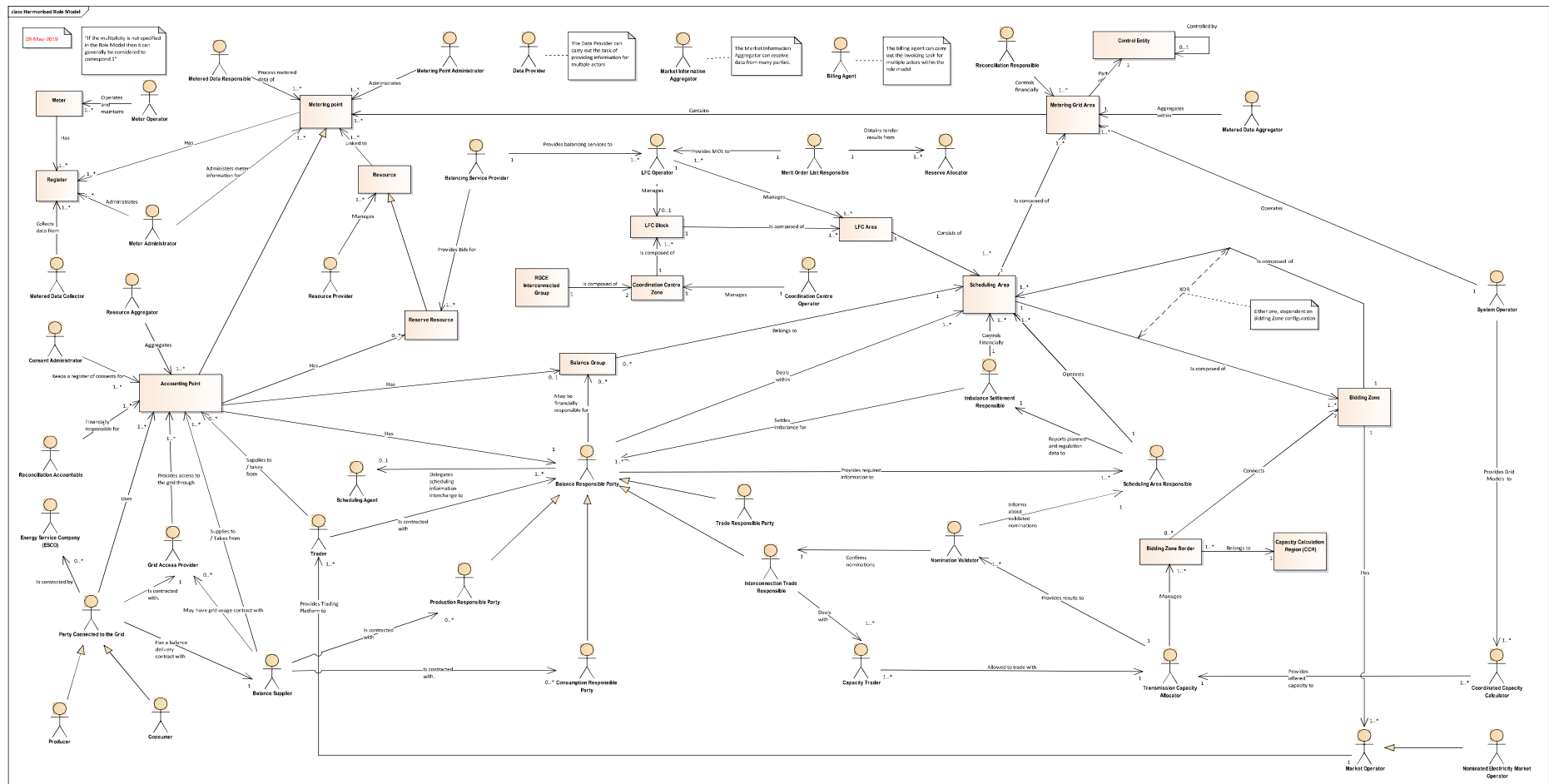
8. Informações Personalizadas (Opcional)

Qualquer informação personalizada referenciada por outras seções através de uma chave pode ter aqui o seu valor definido, além de identificada a seção que menciona a informação.

Custom Information (optional)		
Key	Value	Refers to section

ANEXO B - MODELO HARMONIZADO DE ATORES DO MERCADO DE ELETRICIDADE (HRM)

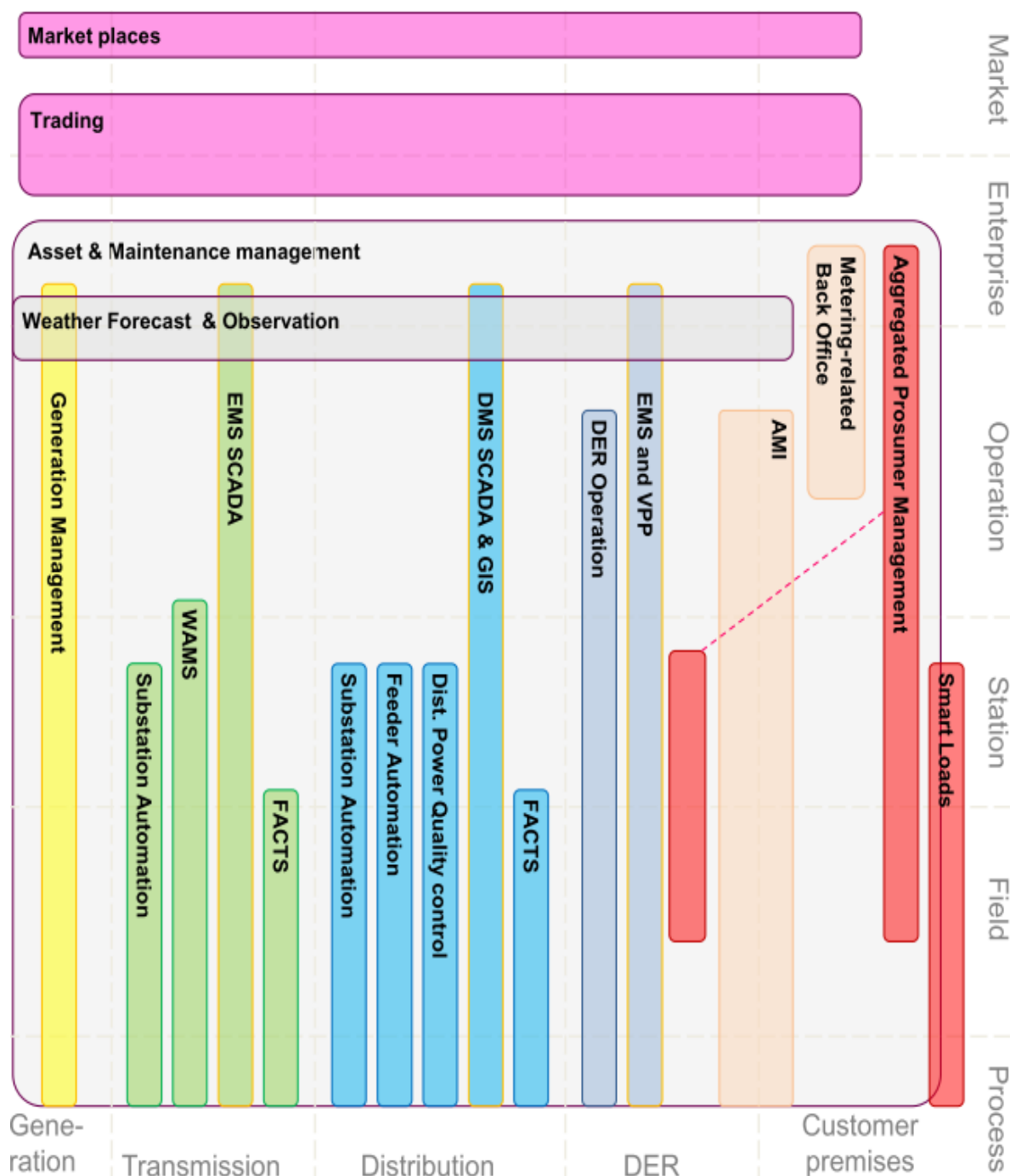
O *Harmonised Electricity Market Role Model* (HRM) foi concebido para facilitar o diálogo entre participantes do mercado de eletricidade de diferentes países do continente europeu, harmonizando nomenclaturas distintas e identificando atores de negócios por meio dos papéis que estes exercem no mercado de eletricidade. Trata-se da especificação de um vocabulário comum desenvolvida por ENTSO-E, EFET e ebIX® (2019).



Fonte: (ENTSO-E; EFET; EBIX, 2019)

ANEXO C - GRUPOS DE FUNÇÕES EM REDES ELÉTRICAS

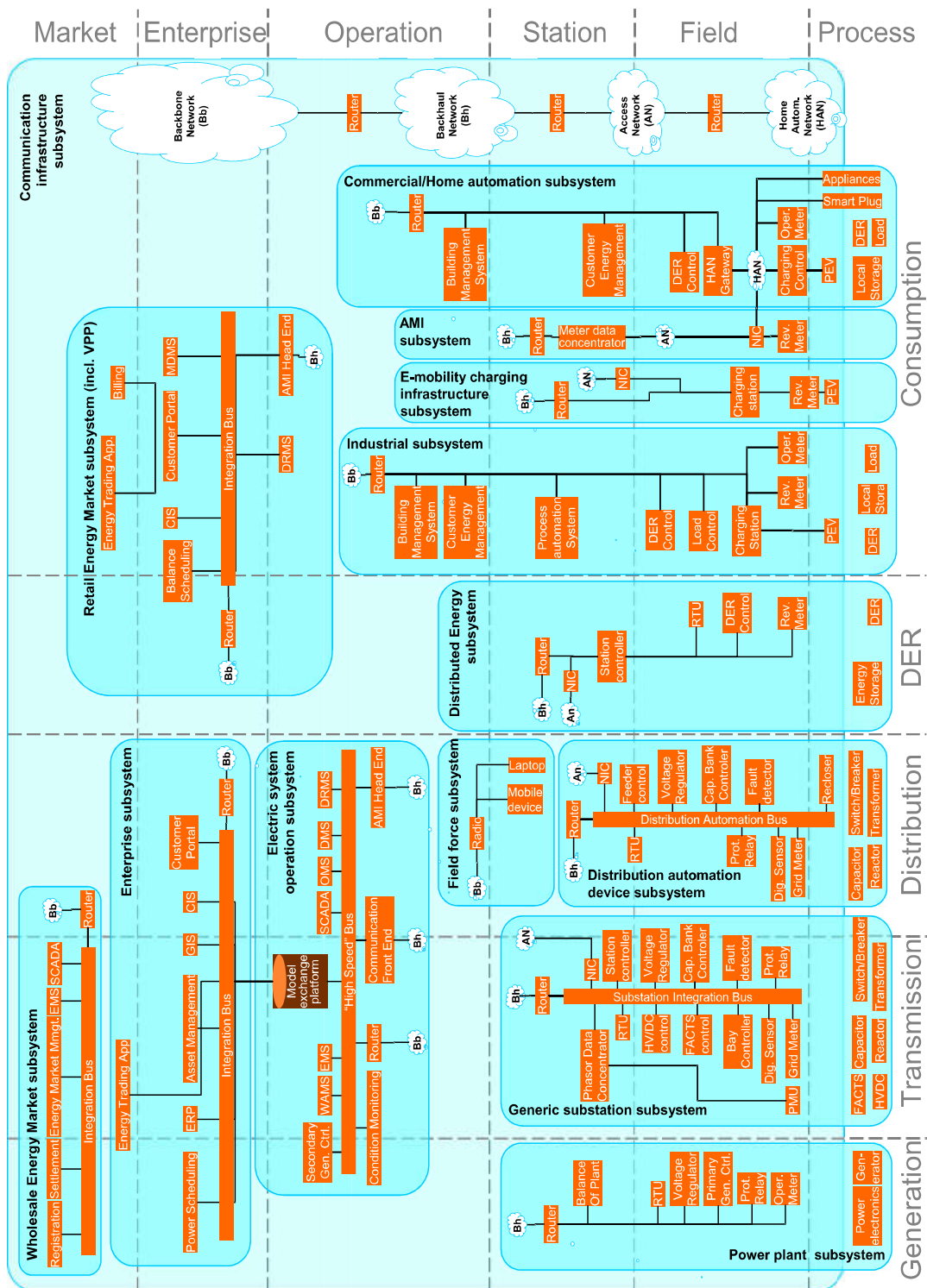
A figura abaixo, retirada de (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014b), ilustra alguns dos grupos de funções mais comuns de sistemas REI, mapeados no plano de domínios e zonas do SGAM. Estas funções podem conter funcionalidades internas de nível mais baixo, ou podem ser usadas como blocos para a construção de funções de mais alto nível.



Fonte: (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2014b, fig. 18)

ANEXO D - PLANO DE COMPONENTES DE REDES ELÉTRICAS

A figura ilustra uma lista de componentes que pode ser usada para o mapeamento de sistemas à Camada de Componentes do SGAM. A descrição dos itens desta lista, assim como as interações entre eles, pode ser encontrada em (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012a, p. 31).



Fonte: (CEN/CENELEC/ETSI SG-CG, 2012a, fig. 5)

ANEXO E - LISTA DE ESQUEMAS XML E RDF

- Ficheiro common.xsd

Inclui a definição dos principais tipos de dados comuns a todos os modelos de informação. Este arquivo é referenciado pelos outros documentos XSD.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<xsd:schema targetNamespace="grei.ufc.br/smad" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:s:smad="grei.ufc.br/smad" elementFormDefault="qualified">
  <xsd:simpleType name="Analog_Meas">
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="CurrentMagnitude"/>
      <xsd:enumeration value="CurrentPhase"/>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="Breaker_DiscreteMeasAlias">
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="False"/>
      <xsd:enumeration value="True"/>
      <xsd:enumeration value="Invalid"/>
      <xsd:enumeration value="Open"/>
      <xsd:enumeration value="Close"/>
      <xsd:enumeration value="Intermediate"/>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="Breaker_DiscreteMeasValue_value_ValueType">
    <xsd:restriction base="xsd:integer">
      <xsd:maxInclusive value="3"/>
      <xsd:minInclusive value="0"/>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="Discrete_Meas">
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="BreakerPosition"/>
      <xsd:enumeration value="BreakerFailure"/>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="PhaseCode">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>An unordered enumeration of phase identifiers. Allows designation of phases
for both transmission and distribution equipment, circuits and loads. The enumeration, by itself, does not
describe how the phases are connected together or connected to ground. Ground is not explicitly denoted as a
phase.
Residential and small commercial loads are often served from single-phase, or split-phase, secondary circuits.
For example of s12N, phases 1 and 2 refer to hot wires that are 180 degrees out of phase, while N refers to the
neutral wire. Through single-phase transformer connections, these secondary circuits may be served from one
or two of the primary phases A, B, and C. For three-phase loads, use the A, B, C phase codes instead of
s12N.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="A">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Phase A.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
```

```

<xsd:enumeration value="B">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Phase B.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
<xsd:enumeration value="C">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Phase C.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
<xsd:enumeration value="N">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Neutral phase.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
<xsd:enumeration value="AB">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Phases A and B.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
<xsd:enumeration value="AC">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Phases A and C.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
<xsd:enumeration value="BC">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Phases B and C.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
<xsd:enumeration value="AN">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Phases A and neutral.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
<xsd:enumeration value="BN">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Phases B and neutral.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
<xsd:enumeration value="CN">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Phases C and neutral.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:enumeration>
</xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="Purpose">
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="Coordination"/>
    <xsd:enumeration value="Isolation"/>
    <xsd:enumeration value="Restoration"/>
  </xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="ReportName">
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="FaultReport"/>
    <xsd:enumeration value="RestorationReport"/>
  </xsd:restriction>

```

```

</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="SwitchActionKind">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Kind of action on switch.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="open">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Open the switch.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="close">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Close the switch.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="disableReclosing">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Disable (automatic) switch reclosing.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="enableReclosing">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Enable (automatic) switch reclosing.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
  </xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="UnitMultiplier">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>The unit multipliers defined for the CIM. When applied to unit symbols that
    already contain a multiplier, both multipliers are used. For example, to exchange kilograms using unit symbol
    of kg, one uses the "none" multiplier, to exchange metric ton (Mg), one uses the "k"
    multiplier.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="none">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>No multiplier or equivalently multiply by 1.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="micro">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Micro 10**-6.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="m">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Milli 10**-3.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="k">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Kilo 10**3.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="M">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Mega 10**6.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
  </xsd:restriction>
</xsd:simpleType>

```

```

    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="G">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Giga 10**9.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
</xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="UnitSymbol">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>The units defined for usage in the CIM.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="A">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Current in Ampere.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="deg">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Plane angle in degrees.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="rad">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Plane angle in radian (m/m).</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="W">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Real power in Watt (J/s). Electrical power may have real and reactive
components. The real portion of electrical power ( $I^2R$  or  $VI\cos(\phi)$ ), is expressed in Watts. (See also apparent
power and reactive power.)</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="VA">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Apparent power in Volt Ampere (See also real power and reactive
power.)</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="VAr">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Reactive power in Volt Ampere reactive. The “reactive” or “imaginary”
component of electrical power ( $VI\sin(\phi)$ ). (See also real power and apparent power).
Note: Different meter designs use different methods to arrive at their results. Some meters may compute
reactive power as an arithmetic value, while others compute the value vectorially. The data consumer should
determine the method in use and the suitability of the measurement for the intended
purpose.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
  </xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:complexType name="Breaker_DiscreteMeasValue">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>An integer number. The range is unspecified and not
limited.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>

```

```
<xsd:simpleContent>  
  <xsd:extension base="smad:Breaker_DiscreteMeasValue_value_ValueType"/>  
</xsd:simpleContent>  
</xsd:complexType>  
</xsd:schema>
```

- Ficheiro outage.xsd

Referente ao modelo de informação *Outage*.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<xsd:schema targetNamespace="grei.ufc.br/smad" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:smad="grei.ufc.br/smad" elementFormDefault="qualified">
  <xsd:include schemaLocation="common.xsd"/>
  <xsd:element name="Outage" type="smad:Outage_Type"/>
  <xsd:complexType name="Analog">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Analog represents an analog Measurement.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="name" type="Analog_Meas" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming the object.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="phases" type="PhaseCode" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Indicates to which phases the measurement applies and avoids the need to use 'measurementType' to also encode phase information (which would explode the types). The phase information in Measurement, along with 'measurementType' and 'phases' uniquely defines a Measurement for a device, based on normal network phase. Their meaning will not change when the computed energizing phasing is changed due to jumpers or other reasons. If the attribute is missing three phases (ABC) shall be assumed.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="unitMultiplier" type="UnitMultiplier" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The unit multiplier of the measured quantity.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="unitSymbol" type="UnitSymbol" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The unit of measure of the measured quantity.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="AnalogValue" type="smad:AnalogValue" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The values connected to this measurement.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>
  <xsd:complexType name="AnalogValue">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>AnalogValue represents an analog MeasurementValue.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="value" type="xsd:float" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The value to supervise.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="timeStamp" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">
```

```

    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The time when the value was last updated</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="Discrete">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Discrete represents a discrete Measurement, i.e. a Measurement representing
discrete values, e.g. a Breaker position.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="name" type="Discrete_Meas" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="DiscreteValue" type="smad:DiscreteValue" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The values connected to this measurement.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="ValueAliasSet" type="smad:ValueAliasSet" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The ValueAliasSet used for translation of a MeasurementValue.value to a
name.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="DiscreteValue">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>DiscreteValue represents a discrete MeasurementValue.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="value" type="Breaker_DiscreteValue_Integer" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The value to supervise.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="timeStamp" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The time when the value was last updated</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="Outage_Type">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Document describing details of an active or planned outage in a part of the
electrical network.
A non-planned outage may be created upon:
- a breaker trip,
- a fault indicator status change,
- a meter event indicating customer outage,
- a reception of one or more customer trouble calls, or
- an operator command, reflecting information obtained from the field crew.
Outage restoration may be performed using a switching plan which complements the outage information with

```

detailed switching activities, including the relationship to the crew and work.

A planned outage may be created upon:

- a request for service, maintenance or construction work in the field, or
- an operator-defined outage for what-if/contingency network analysis.

</xsd:annotation>

<xsd:sequence>

<xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">

<xsd:annotation>

<xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC 4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.

For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.

</xsd:annotation>

</xsd:element>

<xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">

<xsd:annotation>

<xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming the object.

</xsd:annotation>

</xsd:element>

<xsd:element name="startTime" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">

<xsd:annotation>

<xsd:documentation>The start time of the Outage - as reported by some system or individual

</xsd:annotation>

</xsd:element>

<xsd:element name="createdDateTime" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">

<xsd:annotation>

<xsd:documentation>Date and time that this document was created.

</xsd:annotation>

</xsd:element>

<xsd:element name="description" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">

<xsd:annotation>

<xsd:documentation>The description is a free human readable text describing or naming the object. It may be non unique and may not correlate to a naming hierarchy.

</xsd:annotation>

</xsd:element>

<xsd:element name="cause" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">

<xsd:annotation>

<xsd:documentation>The cause of this outage. This is the cause that is used to present to external entities. That is, the cause is weather, equipment failure, etc.

Note: At present, this is a free text; could be replaced with a separate associated class in case we have multiple causes (e.g. OutageCauseType, inheriting from IdentifiedObject).

</xsd:annotation>

</xsd:element>

<xsd:element name="ProtectedSwitch" type="smad:ProtectedSwitch" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">

<xsd:annotation>

<xsd:documentation>All equipments associated with this outage.

</xsd:annotation>

</xsd:element>

</xsd:sequence>

</xsd:complexType>

<xsd:complexType name="ProtectedSwitch">

<xsd:annotation>

<xsd:documentation>A ProtectedSwitch is a switching device that can be operated by ProtectionEquipment.

```

</xsd:annotation>
<xsd:sequence>
  <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="normalOpen" type="xsd:boolean" minOccurs="0" maxOccurs="1">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The attribute is used in cases when no Measurement for the status value is
present. If the Switch has a status measurement the Discrete.normalValue is expected to match with the
Switch.normalOpen.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="switchOnCount" type="xsd:integer" minOccurs="0" maxOccurs="1">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The switch on count since the switch was last reset or
initialized.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="Discrete_Measurement" type="smad:Discrete" minOccurs="0" maxOccurs="un
bounded">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The measurements associated with this power system
resource.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="Analog_Measurement" type="smad:Analog" minOccurs="0" maxOccurs="unbo
unded">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The measurements associated with this power system
resource.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="ValueAliasSet">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Describes the translation of a set of values into a name and is intendend to
facilitate cusom translations. Each ValueAliasSet has a name, description etc. A specific Measurement may
represent a discrete state like Open, Closed, Intermediate etc. This requires a translation from the
MeasurementValue.value number to a string, e.g. 0->"Invalid", 1->"Open", 2->"Closed", 3-
->"Intermediate". Each ValueToAlias member in ValueAliasSet.Value describe a mapping for one
particular value to a name.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="Value" type="smad:ValueToAlias" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The ValueToAlias mappings included in the set.</xsd:documentation>

```

```

        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>
  <xsd:complexType name="ValueToAlias">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Describes the translation of one particular value into a name, e.g. 1 as
"Open".</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="value" type="Breaker_DiscreteValue_Integer" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The value that is mapped.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="aliasName" type="Breaker_DiscreteMeasAlias" minOccurs="1" maxOccurs="1"
">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The aliasName is free text human readable name of the object alternative to
IdentifiedObject.name. It may be non unique and may not correlate to a naming hierarchy.
The attribute aliasName is retained because of backwards compatibility between CIM releases. It is however
recommended to replace aliasName with the Name class as aliasName is planned for retirement at a future
time.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>
</xsd:schema>

```

- Ficheiro `switchingplan.xsd`

Referente ao modelo de informação *SwitchingPlan*.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<xsd:schema targetNamespace="grei.ufc.br/smad" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:smad="grei.ufc.br/smad">
  <xsd:include schemaLocation="common.xsd"/>
  <xsd:element name="SwitchingPlan" type="smad:SwitchingPlan_Type"/>
  <xsd:complexType name="ProtectedSwitch">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>A ProtectedSwitch is a switching device that can be operated by
ProtectionEquipment.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="normalOpen" type="xsd:boolean" minOccurs="0" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The attribute is used in cases when no Measurement for the status value is
present. If the Switch has a status measurement the Discrete.normalValue is expected to match with the
Switch.normalOpen.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>
  <xsd:complexType name="SwitchAction">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Action on switch as a switching step.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="kind" type="smad:SwitchActionKind" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Switching action to perform.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="sequenceNumber" type="xsd:integer" minOccurs="0" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Order of this activity in the sequence of activities within the switching
plan.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="isFreeSequence" type="xsd:boolean" minOccurs="0" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>If true, the sequence number serves for presentation purposes only, and the
```

```

activity itself may be executed at any time.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="plannedDateTime" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Planned date and time of this switching step.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="executedDateTime" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Actual date and time of this switching step.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="issuedDateTime" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Date and time when the crew was given the instruction to execute the
action; not applicable if the action is performed by operator remote control.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="OperatedSwitch" type="smad:ProtectedSwitch" minOccurs="1" maxOccurs="1"
>
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Switch that is the object of this switch action.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="SwitchingPlan_Type">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A sequence of grouped or atomic steps intended to:
- de-energise equipment or part of the network for safe work, and/or
- bring back in service previously de-energised equipment or part of the network.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="purpose" type="smad:Purpose" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Purpose of this plan, such as whether it is to move the state from normal to
some abnormal condition, or to restore the normal state after an abnormal condition, or to perform some kind
of optimisation such as correction of overload, voltage control, etc.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="createdDateTime" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Date and time that this document was created.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>

```

```
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="SwitchAction" type="smad:SwitchAction" minOccurs="1" maxOccurs="unbounded">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>All switch action steps in this group.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>
</xsd:schema>
```

- Ficheiro `faultreport.xsd`

Referente ao modelo de informação *FaultReport*.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<xsd:schema targetNamespace="grei.ufc.br/smad" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:smad="grei.ufc.br/smad" elementFormDefault="qualified">
  <xsd:import namespace="grei.ufc.br/smad" schemaLocation="common.xsd"/>
  <xsd:element name="ReportingGroup" type="smad:ReportingGroup_Type"/>
  <xsd:simpleType name="Analog_Meas">
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="CurrentMagnitude"/>
      <xsd:enumeration value="CurrentPhase"/>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="Breaker_DiscreteMeasAlias">
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="False"/>
      <xsd:enumeration value="True"/>
      <xsd:enumeration value="Invalid"/>
      <xsd:enumeration value="Open"/>
      <xsd:enumeration value="Close"/>
      <xsd:enumeration value="Intermediate"/>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="Breaker_DiscreteValue_Integer_value">
    <xsd:restriction base="xsd:integer">
      <xsd:maxInclusive value="3"/>
      <xsd:minInclusive value="0"/>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="Discrete_Meas">
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="BreakerPosition"/>
      <xsd:enumeration value="BreakerFailure"/>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="PhaseCode">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>An unordered enumeration of phase identifiers. Allows designation of phases for both transmission and distribution equipment, circuits and loads. The enumeration, by itself, does not describe how the phases are connected together or connected to ground. Ground is not explicitly denoted as a phase. Residential and small commercial loads are often served from single-phase, or split-phase, secondary circuits. For example of s12N, phases 1 and 2 refer to hot wires that are 180 degrees out of phase, while N refers to the neutral wire. Through single-phase transformer connections, these secondary circuits may be served from one or two of the primary phases A, B, and C. For three-phase loads, use the A, B, C phase codes instead of s12N.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="A">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Phase A.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
      <xsd:enumeration value="B">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Phase B.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>

```

```

    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="C">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Phase C.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="N">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Neutral phase.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="AB">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Phases A and B.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="AC">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Phases A and C.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="BC">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Phases B and C.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="AN">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Phases A and neutral.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="BN">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Phases B and neutral.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
  <xsd:enumeration value="CN">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Phases C and neutral.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:enumeration>
</xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="Purpose">
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="Coordination"/>
    <xsd:enumeration value="Isolation"/>
    <xsd:enumeration value="Restoration"/>
  </xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="ReportName">
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="FaultReport"/>
    <xsd:enumeration value="RestorationReport"/>
  </xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="SwitchActionKind">
  <xsd:annotation>

```

```

    <xsd:documentation>Kind of action on switch.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="open">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Open the switch.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="close">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Close the switch.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="disableReclosing">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Disable (automatic) switch reclosing.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="enableReclosing">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Enable (automatic) switch reclosing.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
  </xsd:restriction>
</xsd:simpleType>
<xsd:simpleType name="UnitMultiplier">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>The unit multipliers defined for the CIM. When applied to unit symbols that
already contain a multiplier, both multipliers are used. For example, to exchange kilograms using unit symbol
of kg, one uses the "none" multiplier, to exchange metric ton (Mg), one uses the "k"
multiplier.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:restriction base="xsd:string">
    <xsd:enumeration value="none">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>No multiplier or equivalently multiply by 1.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="micro">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Micro 10**-6.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="m">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Milli 10**-3.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="k">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Kilo 10**3.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="M">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Mega 10**6.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:enumeration>
    <xsd:enumeration value="G">

```

```

        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Giga 10**9.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:simpleType name="UnitSymbol">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The units defined for usage in the CIM.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:restriction base="xsd:string">
      <xsd:enumeration value="A">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Current in Ampere.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
      <xsd:enumeration value="deg">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Plane angle in degrees.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
      <xsd:enumeration value="rad">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Plane angle in radian (m/m).</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
      <xsd:enumeration value="W">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Real power in Watt (J/s). Electrical power may have real and reactive
components. The real portion of electrical power ( $I^2R$  or  $VI\cos(\phi)$ ), is expressed in Watts. (See also apparent
power and reactive power.)</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
      <xsd:enumeration value="VA">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Apparent power in Volt Ampere (See also real power and reactive
power.)</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
      <xsd:enumeration value="VAr">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Reactive power in Volt Ampere reactive. The “reactive” or “imaginary”
component of electrical power ( $VI\sin(\phi)$ ). (See also real power and apparent power).
Note: Different meter designs use different methods to arrive at their results. Some meters may compute
reactive power as an arithmetic value, while others compute the value vectorially. The data consumer should
determine the method in use and the suitability of the measurement for the intended
purpose.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:enumeration>
    </xsd:restriction>
  </xsd:simpleType>
  <xsd:complexType name="Breaker_DiscreteValue_Integer">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>An integer number. The range is unspecified and not
limited.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:simpleContent>
      <xsd:extension base="smad:Breaker_DiscreteValue_Integer_value"/>
    </xsd:simpleContent>
  </xsd:complexType>

```

```

</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="ControlArea">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A control area is a grouping of generating units and/or loads and a cutset of tie
lines (as terminals) which may be used for a variety of purposes including automatic generation control,
powerflow solution area interchange control specification, and input to load forecasting. Note that any
number of overlapping control area specifications can be superimposed on the physical
model.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="description" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The description is a free human readable text describing or naming the
object. It may be non unique and may not correlate to a naming hierarchy.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="EnergyConnection">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="Analog" type="smad:Power_Analog" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"
  >
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The measurements associated with this power system
resource.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>

```

```

<xsd:complexType name="Feeder">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="Power_Analog">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Analog represents an analog Measurement.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="name" type="smad:Analog_Meas" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="unitMultiplier" type="smad:UnitMultiplier" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The unit multiplier of the measured quantity.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="unitSymbol" type="smad:UnitSymbol" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The unit of measure of the measured quantity.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="AnalogValues" type="smad:Power_AnalogValue" minOccurs="1" maxOccurs=
"1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The values connected to this measurement.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="Power_AnalogValue">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>AnalogValue represents an analog MeasurementValue.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="value" type="xsd:float" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The value to supervise.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>

```

```

</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="ProtectedSwitch">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A ProtectedSwitch is a switching device that can be operated by
ProtectionEquipment.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="normalOpen" type="xsd:boolean" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The attribute is used in cases when no Measurement for the status value is
present. If the Switch has a status measurement the Discrete.normalValue is expected to match with the
Switch.normalOpen.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="SwitchAction" type="smad:SwitchAction" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Action changing status of this switch.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="ReportingGroup_Type">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A reporting group is used for various ad-hoc groupings used for
reporting.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="description" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>

```

```

    <xsd:documentation>The description is a free human readable text describing or naming the
    object. It may be non unique and may not correlate to a naming hierarchy.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="Isolated_EnergyConnection" type="smad:EnergyConnection" minOccurs="0" m
  axOccurs="unbounded">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="Deenergized_EnergyConnection" type="smad:EnergyConnection" minOccurs="
  0" maxOccurs="unbounded">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="Feeder" type="smad:Feeder" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="ProtectedSwitch" type="smad:ProtectedSwitch" minOccurs="0" maxOccurs="u
  nbounded">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="Isolated_ControlArea" type="smad:ControlArea" minOccurs="0" maxOccurs="
  unbounded">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
  <xsd:element name="Deenergized_ControlArea" type="smad:ControlArea" minOccurs="0" maxOccu
  rs="unbounded">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="SwitchAction">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Action on switch as a switching step.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="kind" type="smad:SwitchActionKind" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Switching action to perform.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="executedDateTime" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>

```

```

        <xsd:documentation>Actual date and time of this switching step.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="SwitchingPlan" type="smad:SwitchingPlan" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Group to which this step belongs.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="SwitchingPlan">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A sequence of grouped or atomic steps intended to:
- de-energise equipment or part of the network for safe work, and/or
- bring back in service previously de-energised equipment or part of the network.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="purpose" type="smad:Purpose" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Purpose of this plan, such as whether it is to move the state from normal to
some abnormal condition, or to restore the normal state after an abnormal condition, or to perform some kind
of optimisation such as correction of overload, voltage control, etc.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
</xsd:schema>

```

- Ficheiro `negotiation.rd`

Referente ao modelo de informação *Negotiation*.

```
<?xml version="1.0" ?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:cims="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#"
  xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xmlns:msg="http://langdale.com.au/2005/Message#"
  xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/"
  xmlns:uml="http://langdale.com.au/2005/UML#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xml:base="http://iec.ch/TC57/CIM-generic" >
  <rdf:Description rdf:about="#EnergyConsumer.customerCount">
    <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
    <rdfs:comment>Number of individual customers represented by this demand.</rdfs:comment>
    <rdfs:label>customerCount</rdfs:label>
    <cims:dataType rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#integer"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#EnergyConsumer"/>
    <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
    <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="#ACLLineSegment.x">
    <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
    <rdfs:comment>Positive sequence series reactance of the entire line section.</rdfs:comment>
    <rdfs:label>x</rdfs:label>
    <cims:dataType rdf:resource="#Reactance"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#ACLLineSegment"/>
    <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
    <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="#ReactivePower">
    <rdfs:comment>Product of RMS value of the voltage and the RMS value of the quadrature component of
the current.</rdfs:comment>
    <rdfs:label>ReactivePower</rdfs:label>
    <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="#Terminal.ConductingEquipment">
    <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#byreference"/>
    <rdfs:comment>The conducting equipment of the terminal. Conducting equipment have terminals that
may be connected to other conducting equipment terminals via connectivity nodes or topological
nodes.</rdfs:comment>
    <rdfs:label>ConductingEquipment</rdfs:label>
    <cims:inverseRoleName rdf:resource="#ConductingEquipment.Terminals"/>
    <rdfs:range rdf:resource="#ConductingEquipment"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#Terminal"/>
    <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:1"/>
    <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
  </rdf:Description>
  <rdf:Description rdf:about="#ACLLineSegment.bch">
    <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
    <rdfs:comment>Positive sequence shunt (charging) susceptance, uniformly distributed, of the entire line
section. This value represents the full charging over the full length of the line.</rdfs:comment>
    <rdfs:label>bch</rdfs:label>
    <cims:dataType rdf:resource="#Susceptance"/>
    <rdfs:domain rdf:resource="#ACLLineSegment"/>
```

```

<cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Terminal.ConnectivityNode">
  <rdfs:comment>The connectivity node to which this terminal connects with zero
impedance.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>ConnectivityNode</rdfs:label>
  <cims:inverseRoleName rdf:resource="#ConnectivityNode.Terminals"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#ConnectivityNode"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Terminal"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#IdentifiedObject.name">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>The name is any free human readable and possibly non unique text naming the
object.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>name</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#IdentifiedObject"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ConductingEquipment.Terminals">
  <rdfs:comment>Conducting equipment have terminals that may be connected to other conducting
equipment terminals via connectivity nodes or topological nodes.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Terminals</rdfs:label>
  <cims:inverseRoleName rdf:resource="#Terminal.ConductingEquipment"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Terminal"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ConductingEquipment"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..n"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#IdentifiedObject.mRID">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique within an
exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC 4122, for the
mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>mRID</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#IdentifiedObject"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ACLLineSegment.b0ch">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Zero sequence shunt (charging) susceptance, uniformly distributed, of the entire line
section.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>b0ch</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="#Susceptance"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ACLLineSegment"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ActivePower">
  <rdfs:comment>Product of RMS value of the voltage and the RMS value of the in-phase component of the
current.</rdfs:comment>

```

```

<rdfs:label>ActivePower</rdfs:label>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Package_Base">
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_IEC61970"/>
  <rdfs:comment>The equivalents package models equivalent networks.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Base</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#ClassCategory"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Resistance">
  <rdfs:comment>Resistance (real part of impedance).</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Resistance</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Switch.normalOpen">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>The attribute is used in cases when no Measurement for the status value is present. If the
Switch has a status measurement the Discrete.normalValue is expected to match with the
Switch.normalOpen.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>normalOpen</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Switch"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Package_Wires">
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Base"/>
  <rdfs:comment>An extension to the Core and Topology package that models information on the electrical
characteristics of Transmission and Distribution networks. This package is used by network applications such
as State Estimation, Load Flow and Optimal Power Flow.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Wires</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#ClassCategory"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Switch">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#ConductingEquipment"/>
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Wires"/>
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#concrete"/>
  <rdfs:comment>A generic device designed to close, or open, or both, one or more electric circuits. All
switches are two terminal devices including grounding switches.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Switch</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Conductor">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#ConductingEquipment"/>
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Wires"/>
  <rdfs:comment>Combination of conducting material with consistent electrical characteristics, building a
single electrical system, used to carry current between points in the power system.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Conductor</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#EnergyConsumer.p">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Active power of the load. Load sign convention is used, i.e. positive sign means flow out
from a node.
For voltage dependent loads the value is at rated voltage.
Starting value for a steady state solution.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>p</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="#ActivePower"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#EnergyConsumer"/>

```

```

<cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#EnergyConsumer.grounded">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Used for Yn and Zn connections. True if the neutral is solidly grounded.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>grounded</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#EnergyConsumer"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Length">
  <rdfs:comment>Unit of length. Never negative.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Length</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ConnectivityNode">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#IdentifiedObject"/>
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Core"/>
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#concrete"/>
  <rdfs:comment>Connectivity nodes are points where terminals of AC conducting equipment are connected
together with zero impedance.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>ConnectivityNode</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Conductance">
  <rdfs:comment>Factor by which voltage must be multiplied to give corresponding power lost from a
circuit. Real part of admittance.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Conductance</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ACLineSegment.r0">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Zero sequence series resistance of the entire line section.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>r0</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="#Resistance"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ACLineSegment"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Terminal">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#IdentifiedObject"/>
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Core"/>
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#byreference"/>
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#concrete"/>
  <rdfs:comment>An AC electrical connection point to a piece of conducting equipment. Terminals are
connected at physical connection points called connectivity nodes.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Terminal</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Reactance">
  <rdfs:comment>Reactance (imaginary part of impedance), at rated frequency.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Reactance</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ACLineSegment.g0ch">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Zero sequence shunt (charging) conductance, uniformly distributed, of the entire line

```

```

section.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>g0ch</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="#Conductance"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ACLLineSegment"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ACLLineSegment.gch">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Positive sequence shunt (charging) conductance, uniformly distributed, of the entire line
section.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>gch</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="#Conductance"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ACLLineSegment"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ACLLineSegment.x0">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Zero sequence series reactance of the entire line section.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>x0</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="#Reactance"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ACLLineSegment"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Conductor.length">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>Segment length for calculating line section capabilities</rdfs:comment>
  <rdfs:label>length</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="#Length"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Conductor"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#IdentifiedObject">
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Core"/>
  <rdfs:comment>This is a root class to provide common identification for all classes needing identification
and naming attributes.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>IdentifiedObject</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Susceptance">
  <rdfs:comment>Imaginary part of admittance.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Susceptance</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Switch.open">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>The attribute tells if the switch is considered open when used as input to topology
processing.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>open</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#boolean"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#Switch"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Equipment">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#IdentifiedObject"/>

```

```

<cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Core"/>
<rdfs:comment>The parts of a power system that are physical devices, electronic or
mechanical.</rdfs:comment>
<rdfs:label>Equipment</rdfs:label>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#EnergyConsumer.q">
<cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
<rdfs:comment>Reactive power of the load. Load sign convention is used, i.e. positive sign means flow out
from a node.
For voltage dependent loads the value is at rated voltage.
Starting value for a steady state solution.</rdfs:comment>
<rdfs:label>q</rdfs:label>
<cims:dataType rdf:resource="#ReactivePower"/>
<rdfs:domain rdf:resource="#EnergyConsumer"/>
<cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Package_Core">
<cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Base"/>
<rdfs:comment>Contains the core PowerSystemResource and ConductingEquipment entities shared by all
applications plus common collections of those entities. Not all applications require all the Core entities. This
package does not depend on any other package except the Domain package, but most of the other packages
have associations and generalizations that depend on it.</rdfs:comment>
<rdfs:label>Core</rdfs:label>
<rdf:type rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#ClassCategory"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ACLineSegment.r">
<cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
<rdfs:comment>Positive sequence series resistance of the entire line section.</rdfs:comment>
<rdfs:label>r</rdfs:label>
<cims:dataType rdf:resource="#Resistance"/>
<rdfs:domain rdf:resource="#ACLineSegment"/>
<cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ACLineSegment">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#Conductor"/>
<cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Wires"/>
<cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#concrete"/>
<rdfs:comment>A wire or combination of wires, with consistent electrical characteristics, building a single
electrical system, used to carry alternating current between points in the power system.
For symmetrical, transposed 3ph lines, it is sufficient to use attributes of the line segment, which describe
impedances and admittances for the entire length of the segment. Additionally impedances can be computed
by using length and associated per length impedances.
The BaseVoltage at the two ends of ACLineSegments in a Line shall have the same
BaseVoltage.nominalVoltage. However, boundary lines may have slightly different
BaseVoltage.nominalVoltages and variation is allowed. Larger voltage difference in general requires use of
an equivalent branch.</rdfs:comment>
<rdfs:label>ACLineSegment</rdfs:label>
<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#EnergyConsumer">
<rdfs:subClassOf rdf:resource="#ConductingEquipment"/>
<cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Wires"/>
<cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#concrete"/>
<rdfs:comment>Generic user of energy - a point of consumption on the power system
model.</rdfs:comment>
<rdfs:label>EnergyConsumer</rdfs:label>

```

```

<rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#IdentifiedObject.description">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#attribute"/>
  <rdfs:comment>The description is a free human readable text describing or naming the object. It may be
non unique and may not correlate to a naming hierarchy.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>description</rdfs:label>
  <cims:dataType rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ConductingEquipment"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..1"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ConductingEquipment">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Equipment"/>
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Core"/>
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#byreference"/>
  <rdfs:comment>The parts of the AC power system that are designed to carry current or that are
conductively connected through terminals.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>ConductingEquipmen</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#ConnectivityNode.Terminals">
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#byreference"/>
  <rdfs:comment>Terminals interconnected with zero impedance at a this connectivity
node.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>Terminals</rdfs:label>
  <cims:inverseRoleName rdf:resource="#Terminal.ConnectivityNode"/>
  <rdfs:range rdf:resource="#Terminal"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="#ConnectivityNode"/>
  <cims:multiplicity rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#M:0..n"/>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#BusbarSection">
  <rdfs:subClassOf rdf:resource="#ConductingEquipment"/>
  <cims:belongsToCategory rdf:resource="#Package_Wires"/>
  <cims:stereotype rdf:resource="http://langdale.com.au/2005/UML#concrete"/>
  <rdfs:comment>A conductor, or group of conductors, with negligible impedance, that serve to connect
other conducting equipment within a single substation.
Voltage measurements are typically obtained from VoltageTransformers that are connected to busbar
sections. A bus bar section may have many physical terminals but for analysis is modelled with exactly one
logical terminal.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>BusbarSection</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class"/>
</rdf:Description>
<rdf:Description rdf:about="#Package_IEC61970">
  <rdfs:comment>Top package for IEC 61970.</rdfs:comment>
  <rdfs:label>IEC61970</rdfs:label>
  <rdf:type rdf:resource="http://iec.ch/TC57/1999/rdf-schema-extensions-19990926#ClassCategory"/>
</rdf:Description>
</rdf:RDF>

```

- Ficheiro `restorationreport.xsd`

Referente ao modelo de informação *RestorationReport*.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<xsd:schema targetNamespace="grei.ufc.br/smad" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:smad="grei.ufc.br/smad">
  <xsd:import namespace="grei.ufc.br/smad" schemaLocation="common.xsd"/>
  <xsd:element name="ReportingGroup" type="smad:ReportingGroup_Type"/>
  <xsd:complexType name="ControlArea">
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>A control area is a grouping of generating units and/or loads and a cutset of tie
lines (as terminals) which may be used for a variety of purposes including automatic generation control,
powerflow solution area interchange control specification, and input to load forecasting. Note that any
number of overlapping control area specifications can be superimposed on the physical
model.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="description" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The description is a free human readable text describing or naming the
object. It may be non unique and may not correlate to a naming hierarchy.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>
  <xsd:complexType name="EnergyConnection">
    <xsd:sequence>
      <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
      <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
        <xsd:annotation>
          <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
        </xsd:annotation>
      </xsd:element>
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>

```

```

    <xsd:element name="Analog" type="smad:Power_Analog" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"
  >
    <xsd:annotation>
      <xsd:documentation>The measurements associated with this power system
resource.</xsd:documentation>
    </xsd:annotation>
  </xsd:element>
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="Feeder">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="Power_Analog">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Analog represents an analog Measurement.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="unitMultiplier" type="smad:UnitMultiplier" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The unit multiplier of the measured quantity.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="unitSymbol" type="smad:UnitSymbol" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The unit of measure of the measured quantity.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="AnalogValues" type="smad:Power_AnalogValue" minOccurs="1" maxOccurs="
"1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The values connected to this measurement.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="Power_AnalogValue">
  <xsd:annotation>

```

```

    <xsd:documentation>AnalogValue represents an analog MeasurementValue.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="value" type="xsd:float" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The value to supervise.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="ProtectedSwitch">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A ProtectedSwitch is a switching device that can be operated by
ProtectionEquipment.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="name" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="normalOpen" type="xsd:boolean" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>The attribute is used in cases when no Measurement for the status value is
present. If the Switch has a status measurement the Discrete.normalValue is expected to match with the
Switch.normalOpen.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="SwitchAction" type="smad:SwitchAction" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Action changing status of this switch.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="ReportingGroup_Type">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A reporting group is used for various ad-hoc groupings used for
reporting.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>

```

```

</xsd:element>
<xsd:element name="name" type="smad:ReportName" minOccurs="0" maxOccurs="1">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>The name is any free human readable and possibly non unique text naming
the object.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="description" type="xsd:string" minOccurs="0" maxOccurs="1">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>The description is a free human readable text describing or naming the
object. It may be non unique and may not correlate to a naming hierarchy.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="ProtectedSwitch" type="smad:ProtectedSwitch" minOccurs="0" maxOccurs="u
nbounded">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="Restored_EnergyConnection" type="smad:EnergyConnection" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="Feeder" type="smad:Feeder" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
<xsd:element name="Restored_ControlArea" type="smad:ControlArea" minOccurs="0" maxOccurs=
"1">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Power system resources which belong to this reporting
group.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
</xsd:element>
</xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="SwitchAction">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>Action on switch as a switching step.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="kind" type="smad:SwitchActionKind" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Switching action to perform.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="executedDateTime" type="xsd:dateTime" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Actual date and time of this switching step.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="SwitchingPlan" type="smad:SwitchingPlan" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>

```

```

        <xsd:documentation>Group to which this step belongs.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
<xsd:complexType name="SwitchingPlan">
  <xsd:annotation>
    <xsd:documentation>A sequence of grouped or atomic steps intended to:
    - de-energise equipment or part of the network for safe work, and/or
    - bring back in service previously de-energised equipment or part of the network.</xsd:documentation>
  </xsd:annotation>
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="mRID" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Master resource identifier issued by a model authority. The mRID is unique
        within an exchange context. Global uniqueness is easily achieved by using a UUID, as specified in RFC
        4122, for the mRID. The use of UUID is strongly recommended.
        For CIMXML data files in RDF syntax conforming to IEC 61970-552 Edition 1, the mRID is mapped to
        rdf:ID or rdf:about attributes that identify CIM object elements.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
    <xsd:element name="purpose" type="smad:Purpose" minOccurs="0" maxOccurs="1">
      <xsd:annotation>
        <xsd:documentation>Purpose of this plan, such as whether it is to move the state from normal to
        some abnormal condition, or to restore the normal state after an abnormal condition, or to perform some kind
        of optimisation such as correction of overload, voltage control, etc.</xsd:documentation>
      </xsd:annotation>
    </xsd:element>
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>
</xsd:schema>

```

**ANEXO F - USE CASES PARA O SISTEMA MULTIAGENTE DE RECOMPOSIÇÃO
AUTOMÁTICA**

Recomposição automática

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

Description of the use case

Name of use case

Use case identification		
ID	Area(s)/Domain(s)/Zone(s)	Name of use case
1	Automação de Subestação	Recomposição automática

Version management

Version management				
Version No.	Date	Name of author(s)	Changes	Approval status
1	2019-09-22	Marcos Bressan	Criação do Use Case	For comments

Scope and objectives of use case

Scope and objectives of use case	
Scope	O Sistema Multiagente de Automação da Distribuição (SMAD)
Objective(s)	Minimizar número de blocos de carga desenergizados em caso de falta Melhorar indicadores de desempenho
Related business case(s)	Eliminar e isolar faltas

Narrative of Use Case

Narrative of use case
Short description O sistema de recomposição automática é resumido em quatro etapas: 1. Detecção e eliminação da falta: Dispositivos de proteção ao longo da rede elétrica detectam a falta e acionam dispositivos disjuntores para eliminá-la. 2. Localização de falta: A localização física da falta é identificada por meio da análise das notificações recebidas dos dispositivos de proteção. 3. Isolação de falta: Comandos de chaves são realizados para isolar o trecho em falta do resto da rede. 4. Restauração do sistema: Realimentação das partes sãs da rede, que foram desenergizadas durante a eliminação da falta. No contexto do SMRA, a etapa de restauração pode incluir a recomposição por subestações vizinhas através de negociação. Complete description Em sistemas de distribuição, dispositivos de proteção localizados ao longo da rede são os responsáveis pela detecção de faltas e pelo envio de comandos para abertura de disjuntores que a eliminarão. No caso de sistemas com baixa seletividade, é comum que uma parte maior da rede seja desenergizada, deixando desenergizados setores ainda sãos. Um sistema automático de recomposição deverá então ser capaz de identificar a localização da falta, isolar o trecho defeituoso e restaurar a alimentação das partes da rede funcionais. Os efeitos de aberturas ou fechamentos de chaves durante as etapas de isolamento e restauração podem ser simulados e verificados antes de sua execução.

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

No contexto do SMRA, a etapa de restauração pode incluir a recomposição por subestações vizinhas através de negociação.

Summary of use case

- **Recomposição Automática**

Description: Cenário principal

- Localizar trecho acometido pela falta
Description:
- Realizar a coordenação de chaves descoordenadas
Description:
- Isolar o trecho onde ocorreu a falta
Description:
- Recompôr o trecho são desenergizado a jusante da falta (ou parte)
Description:
- Negociar recomposição do trecho (ou de parte) pelas subestações vizinhas
Description:
- Elaborar proposta de recomposição para a subestação solicitante
Description:

Key performance indicators (KPI)

Key performance indicators			
ID	Name	Description	Reference to mentioned use case objectives
1	Potência total reestabelecida		<u>Minimizar número de blocos de carga desenergizados em caso de falta</u>
2	Tempo médio de interrupção do sistema	SAIDI = (soma do tempo total de interrupção de todos os consumidores) / (número total de consumidores)	<u>Melhorar indicadores de desempenho</u>
3	Indisponibilidade média do sistema	ASUI = SAIDI / 8760	<u>Melhorar indicadores de desempenho</u>
4	Tempo médio de interrupção do consumidor	CAIDI = (soma do tempo total de interrupção de todos os consumidores) / (número total de interrupções de consumidores)	<u>Melhorar indicadores de desempenho</u>

Use case conditions

Use case conditions	
Assumptions	
1	Radialidade da rede elétrica: A topologia da rede alimentada por cada subestação é do tipo radial ou radial com recurso.
Prerequisites	

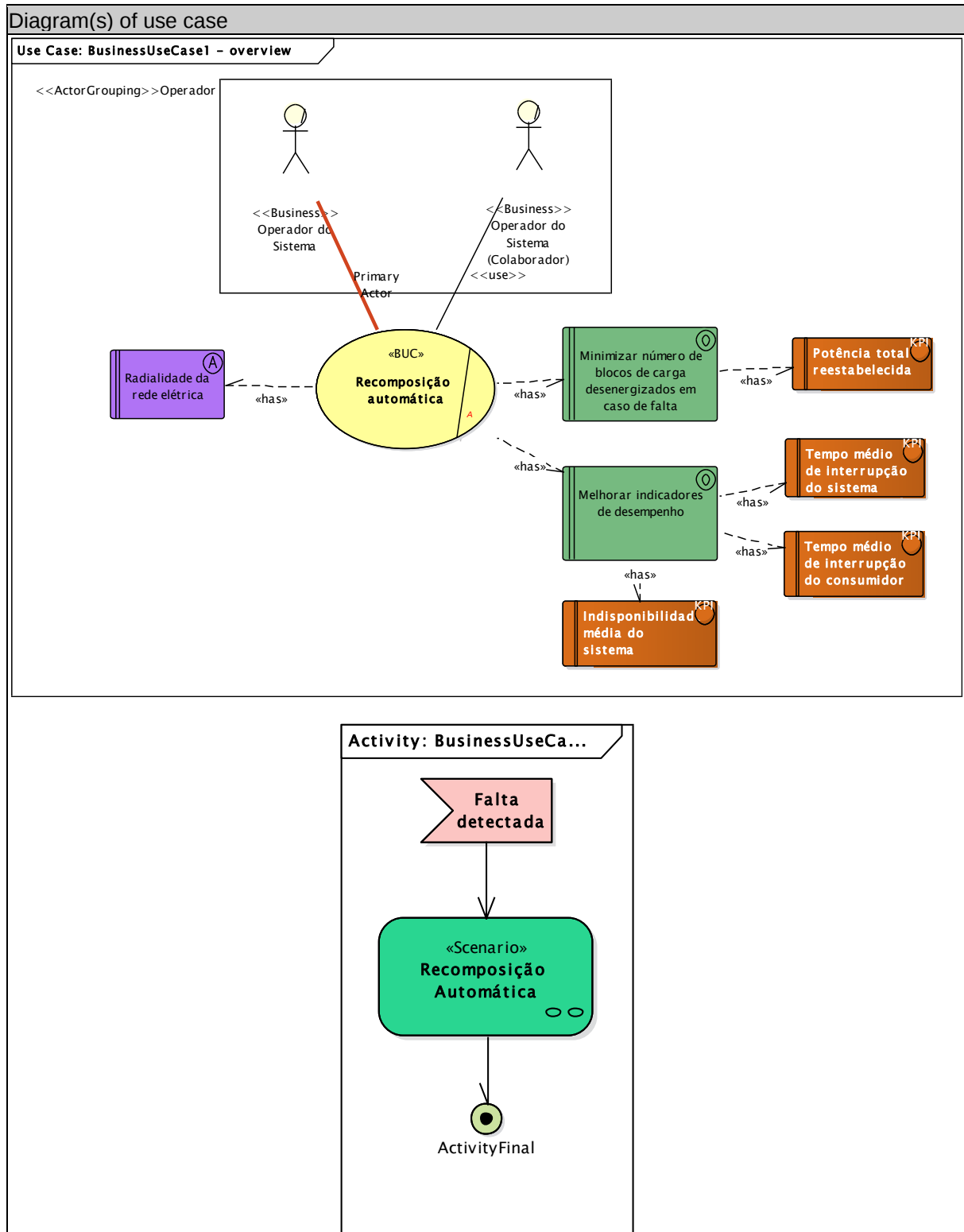
Further information to the use case for classification/mapping

Classification information
Relation to other use cases
<<SUC>> Diagnosticar falta <<SUC>> Corrigir descoordenação <<SUC>> Isolar trecho em falta <<SUC>> Recompôr trecho a jusante do trecho em falta
Level of depth
Detalhado
Prioritisation
Generic, regional or national relation
Genérico
Nature of the use case
BUC
Further keywords for classification
Detecção de falta, Restauração automática, Recomposição automática

General remarks

General remarks
GeneralRemarks1: Em função da topologia o Use Case pode mudar. As descrições deste UC são projetadas para uma topologia radial ou radial com recurso, com execução centralizada, porém com recomposição descentralizada.

Diagrams of use case



Technical details

Actors

Actors			
Grouping (e.g. domains, zones)		Group description	
Operador			
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
Operador do Sistema	Business	Entidade responsável por operar, assegurar a manutenção e, se necessário, desenvolver uma dada subestação e, onde aplicável, suas interconexões com outros sistemas, assegurando em longo termo a capacidade do sistema de distribuição em lidar com a demanda.	
Operador do Sistema (Colaborador)	Business	Operador da subestação vizinha, possível colaboradora durante o processo de recomposição automática por negociação.	

References

Step by step analysis of use case

Overview of scenarios

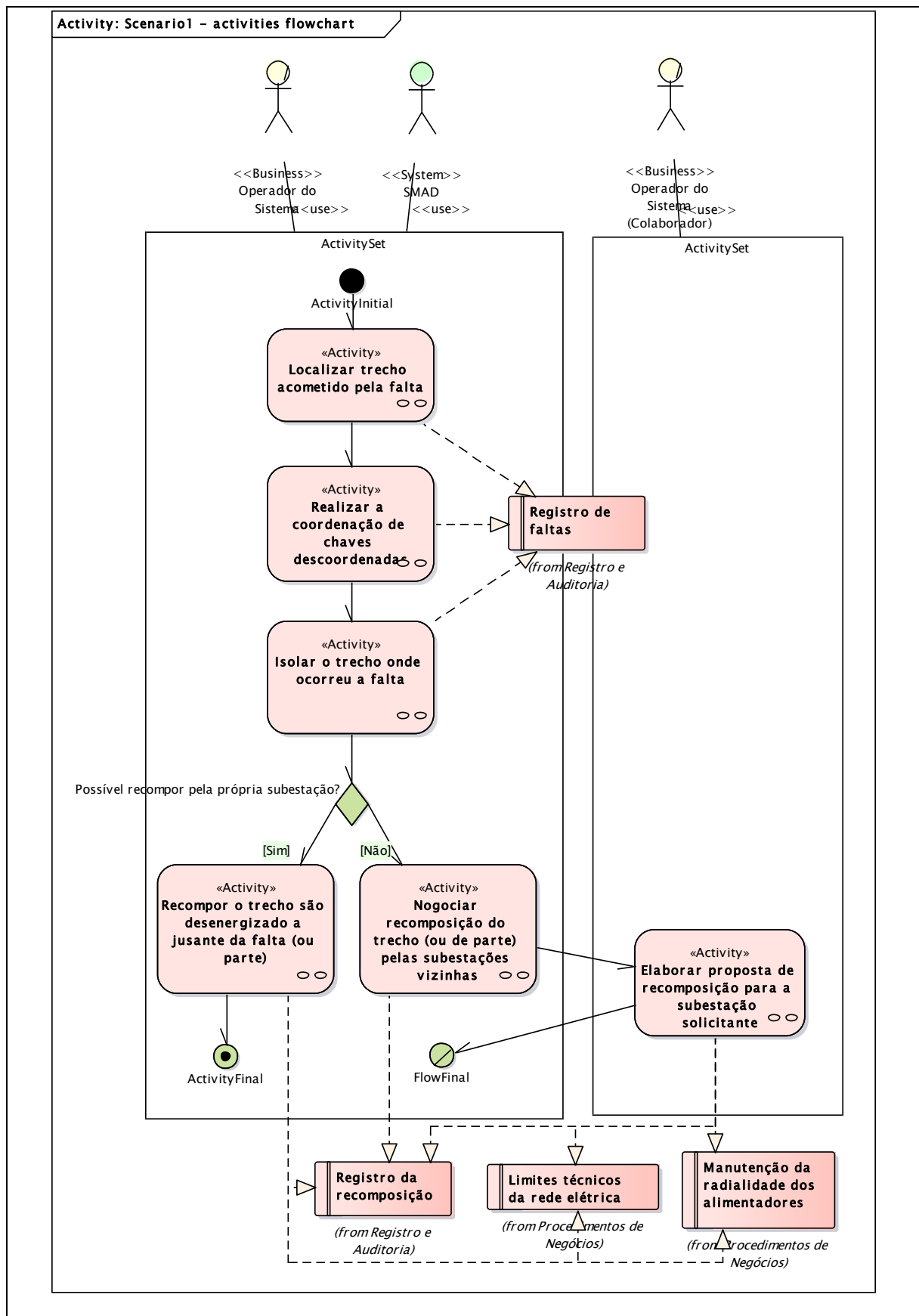
Scenario conditions						
No.	Scenario name	Scenario description	Primary actor	Triggering event	Pre-condition	Post-condition
1	Recomposição Automática	Cenário principal	<u>Operador do Sistema</u>	Falta detectada		

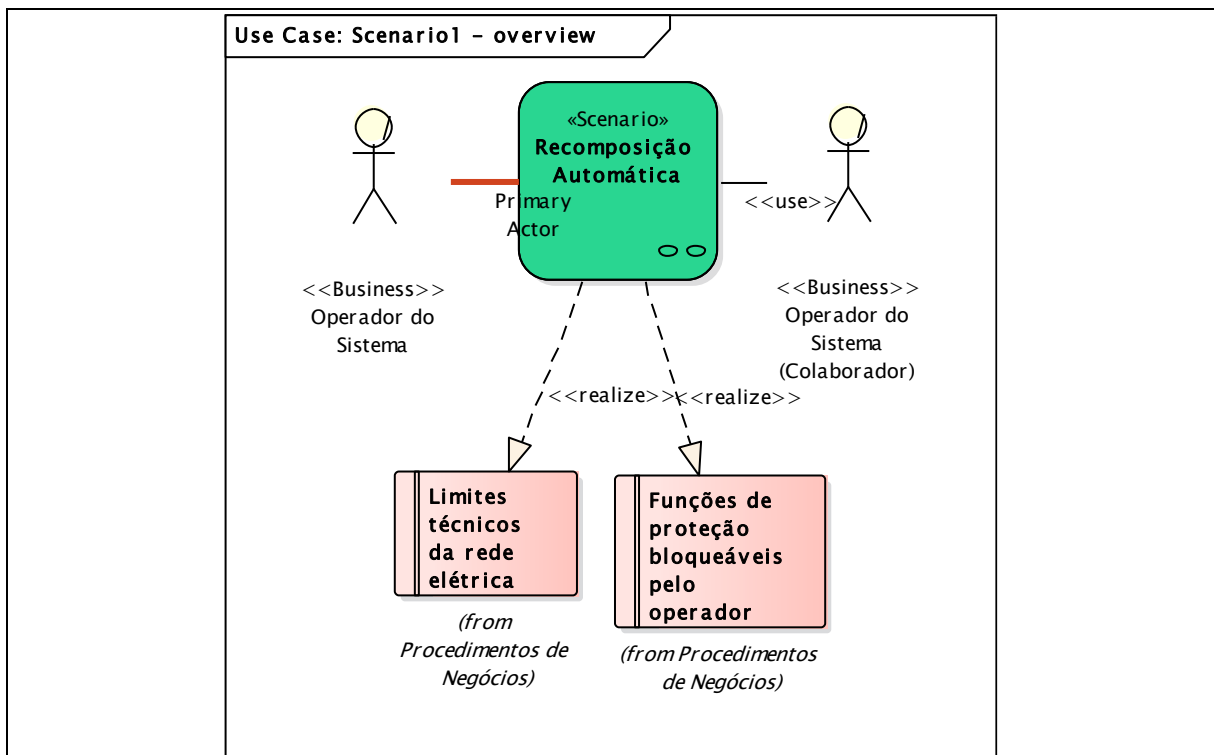
Steps - Scenarios

Recomposição Automática

Cenário principal

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat1.Reg1</u>	Limites técnicos da rede elétrica
<u>Cat1.Reg2</u>	Funções de proteção bloqueáveis pelo operador





Scenario step by step analysis

Scenario								
Scenario name		Recomposição Automática						
Step No	Event	Name of process/activity	Description of process/activity	Service	Information producer (actor)	Information receiver (actor)	Information exchanged (IDs)	Requirement R-IDs
1.1		Localizar trecho acometido pela falta			<u>Operador do Sistema</u>			<u>Cat2.Reg3</u>
1.2		Realizar a coordenação de chaves descoordenadas			<u>Operador do Sistema</u>			<u>Cat2.Reg3</u>
1.3		Isolar o trecho onde ocorreu a falta			<u>Operador do Sistema</u>			<u>Cat2.Reg3</u>
1.4		Recompôr o trecho são desenergizado a jusante da falta (ou parte)			<u>Operador do Sistema</u>			<u>Cat2.Reg4</u> , <u>Cat1.Reg1</u> , <u>Cat1.Reg5</u>
1.5		Negociar recomposição do trecho (ou de parte) pelas subestações vizinhas			<u>Operador do Sistema</u>			<u>Cat2.Reg4</u>

1.6	Elaborar proposta de recomposição para a subestação solicitante			Operador do Sistema (Colaborador)			Cat2.Reg4, Cat1.Reg1, Cat1.Reg5
-----	---	--	--	-----------------------------------	--	--	---------------------------------

- 1.1. Localizar trecho acometido pela falta

Business section: Recomposição Automática/Localizar trecho acometido pela falta

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
Cat2.Reg3	Registro de faltas

- 1.2. Realizar a coordenação de chaves descoordenadas

Business section: Recomposição Automática/Realizar a coordenação de chaves descoordenadas

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
Cat2.Reg3	Registro de faltas

- 1.3. Isolar o trecho onde ocorreu a falta

Business section: Recomposição Automática/Isolar o trecho onde ocorreu a falta

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
Cat2.Reg3	Registro de faltas

- 1.4. Recompôr o trecho são desenergizado a jusante da falta (ou parte)

Business section: Recomposição Automática/Recompôr o trecho são desenergizado a jusante da falta (ou parte)

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
Cat2.Reg4	Registro da recomposição
Cat1.Reg1	Limites técnicos da rede elétrica
Cat1.Reg5	Manutenção da radialidade dos alimentadores

- 1.5. Nogociar recomposição do trecho (ou de parte) pelas subestações vizinhas

Business section: Recomposição Automática/Nogociar recomposição do trecho (ou de parte) pelas subestações vizinhas

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
Cat2.Reg4	Registro da recomposição

- 1.6. Elaborar proposta de recomposição para a subestação solicitante

Business section: Recomposição Automática/Elaborar proposta de recomposição para a subestação solicitante

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
Cat2.Reg4	Registro da recomposição
Cat1.Reg1	Limites técnicos da rede elétrica
Cat1.Reg5	Manutenção da radialidade dos alimentadores

Requirements (optional)

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat1	Procedimentos de Negócios	Reúne requisitos básicos no que diz respeito aos processos de operação e segurança da rede
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req1	Limites técnicos da rede elétrica	- Capacidade limitada de condução dos condutores através da limitação da corrente nominal atravessando o material. - Manutenção das tensões ao longo da linha dentro das margens estabelecidas pela legislação em vigor. - Limite da potência a ser demandada de cada transformador da subestação.
Req2	Funções de proteção bloqueáveis pelo operador	Indicam existência de equipe de manutenção trabalhando (bloqueio das funções de sobrecorrente de neutro, religamento, desequilíbrio de corrente e ativação da função hot-line-tag) em que as ações de recomposição automática devem ser bloqueadas.
Req5	Manutenção da radialidade dos alimentadores	A topologia da rede ativa deve ser mantida radial a todo instante.

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat2	Registro e Auditoria	Requisitos relacionados ao registro automatizado de eventos e de procedimentos executados, para posterior análise pelo operador
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req3	Registro de faltas	SMAD deve manter o registro das faltas, assim como o histórico dos procedimentos realizados para minimizá-las, falhas e resultados.
Req4	Registro da recomposição	SMAD deve manter o registro das recomposições, assim como o histórico dos procedimentos realizados para alcançá-las, critérios de seleção de propostas, falhas de processo e resultados.

Diagnosticar falta

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

Description of the use case

Name of use case

Use case identification		
ID	Area(s)/Domain(s)/Zone(s)	Name of use case
	Automação de Subestação	Diagnosticar falta

Version management

Version management				
Version No.	Date	Name of author(s)	Changes	Approval status
1	2019-11-04	Marcos Bressan	Primeira versão	For comments

Scope and objectives of use case

Scope and objectives of use case	
Scope	Sistema Multiagente de Recomposição Automática (SMRA)
Objective(s)	Diagnóstico de falta: Identificar a localização da falta com base em dados enviados por dispositivos em campo e elaborar relatório com a sequência de chaveamentos a serem realizados.
Related business case(s)	

Narrative of Use Case

Narrative of use case	
Short description	
A recomposição de um sistema após a ocorrência de uma falta exige a localização precisa do trecho faltoso para que este seja devidamente isolado de trechos sãos.	
Complete description	
A recomposição de um sistema após a ocorrência de uma falta exige a localização precisa do trecho faltoso para que este seja devidamente isolado de trechos sãos. O SMRA se utiliza de IEDs distribuídos ao longo do sistema elétrico de distribuição, que poderão eventualmente funcionar sob diferentes protocolos padrão de comunicação intra-subestação (como DNP3, Modbus e IEC 61850). Agentes de Comunicação (ACom) são virtualmente distribuídos ao longo da rede e atribuídos individualmente a cada relé, sendo responsáveis pela interface de comunicação entre o ambiente do SMAD (que utiliza mensagens FIPA-ACL com objetos de informação modelados com o CIM) e a zona de campo onde se localizam os IEDs.	
<u>Summary of use case</u> Diagnosticar falta <u>Description:</u> - Informar atuação de chaves <u>Description:</u> IED envia informe de atuação. O envio de dados pode ser realizado por	

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

meio de pooling (por solicitação do Agente de Comunicação) ou por subscrição (na ocorrência de um evento, o IED informa o Agente de Comunicação automaticamente), em função de sua tecnologia

- Coletar dados
Description: ACom coleta dados de IEDs e os envia ao ADC
- Receber dados
Description: ADC aguarda timeout para receber todos os informes e associá-los ao mesmo evento
- Elaborar e salvar relatório
Description: ADC localiza fisicamente a falta e elabora relatório de falta para consulta por operador. Relatório deve conter sequência inicial de chaveamentos a serem realizados para correção de descoordenação e isolamento de falta.

Key performance indicators (KPI)

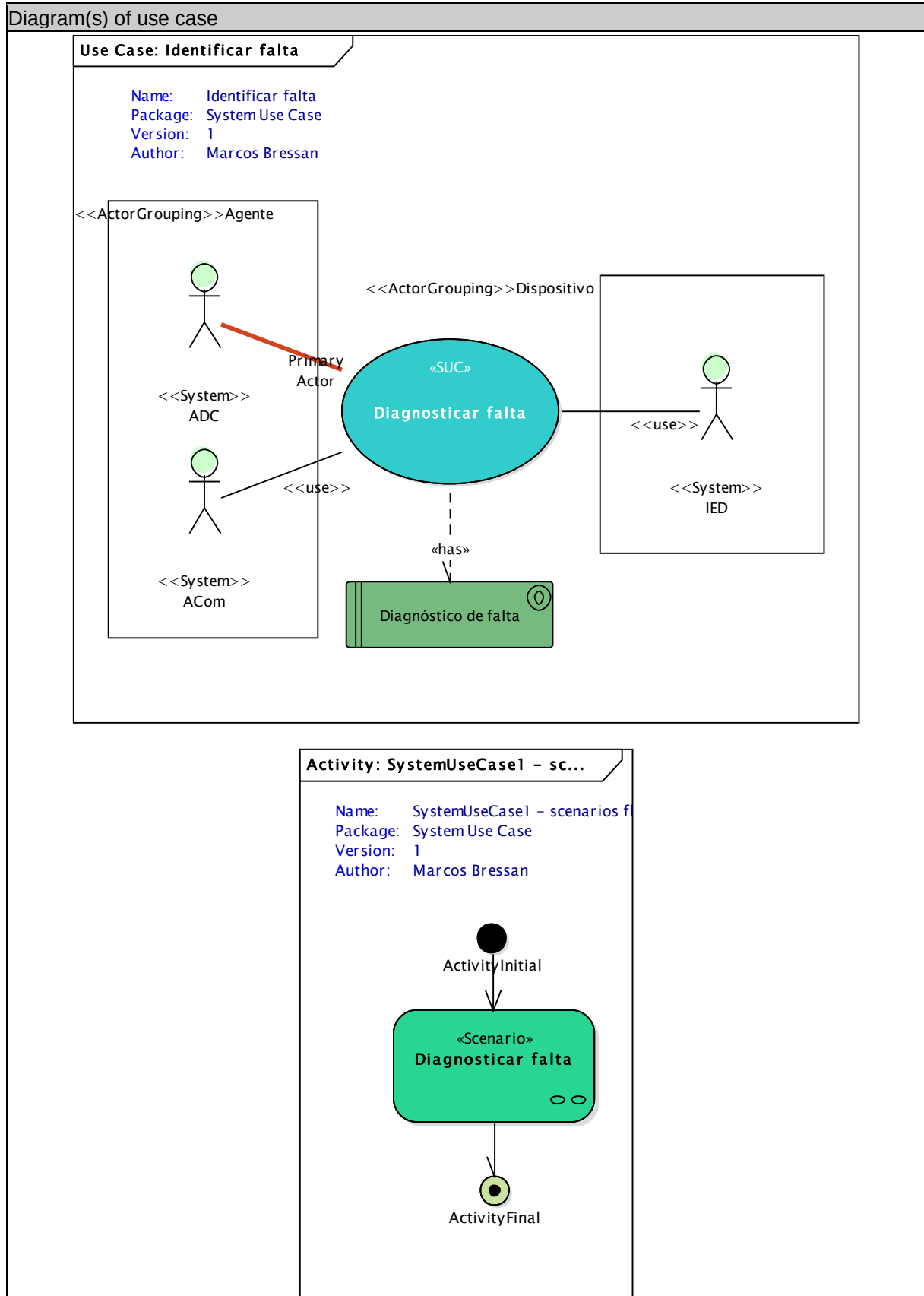
Use case conditions

Further information to the use case for classification/mapping

Classification information
Relation to other use cases
<<BUC>> Recomposição automática <<SUC>> Corrigir descoordenação <<SUC>> Isolar trecho em falta
Level of depth
Detalhado
Prioritisation
Generic, regional or national relation
Genérico
Nature of the use case
SUC
Further keywords for classification
Detecção de falta

General remarks

Diagrams of use case



Technical details

Actors

Actors			
Grouping (e.g. domains, zones)		Group description	
Agente		Reúne todos os agentes internos ao sistema multiagente.	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
ACom	System	O Agente de Comunicação: - Realiza a interface para a comunicação entre agentes e IED; - Coleta dados de atuação do sistema de proteção e realiza o controle de chave por meio do IED ao qual está associado; - Supervisiona estado de equipamentos primários via IED em tempo real; - Monitora restrições operativas do SMRA a partir de ações do operador (bloqueio da função 79 e funções de neutro, ativação da função <i>hot-line-tag</i>).	
ADC	System	O Agente de Diagnóstico e Configuração: - Analisa as ocorrências na rede elétrica por meio de seu simulador interno; - Emitte comandos de controle de chaves para o AC; - Comunica ao AN a necessidade de recomposição de trechos. - Fornecer propostas de recomposição a subestações vizinhas. - Cria, atualiza e salva relatórios de falta e recomposição	
Actors			
Grouping (e.g. domains, zones)		Group description	
Dispositivo		Reúne todos os dispositivos e equipamentos externos com os quais o sistema multiagente pode interagir.	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
IED	System	Intelligent Electronic Device é um dispositivo controlador baseado em microprocessador empregado para a proteção e automação de sistemas de potência, geralmente associados a outros dispositivos como disjuntores, transformadores, chaves motorizadas e bancos de capacitores.	

References

Step by step analysis of use case

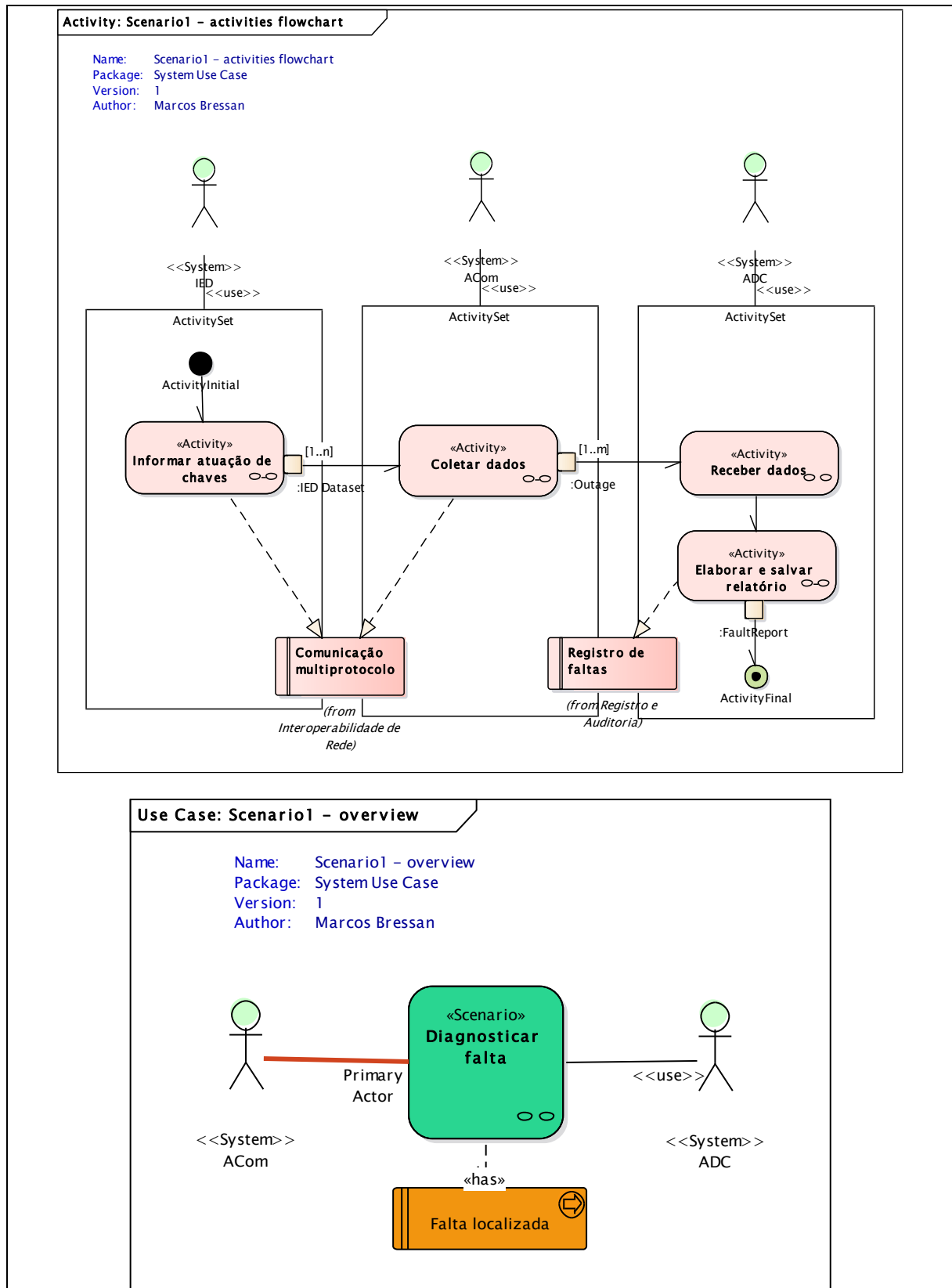
Overview of scenarios

Scenario conditions

No.	Scenario name	Scenario description	Primary actor	Triggering event	Pre-condition	Post-condition
1	Diagnosticar falta		<u>ACom</u>			Falta localizada: ADC localizou a falta e elaborou lista inicial de ações a serem tomadas

Steps - Scenarios

Diagnosticar falta



Scenario step by step analysis

Scenario								
Scenario name		Diagnosticar falta						
Step No	Event	Name of process/activity	Description of process/activity	Service	Information producer (actor)	Information receiver (actor)	Information exchanged (IDs)	Requirement, R-IDs
1.1		Informar atuação de chaves	IED envia informe de atuação. O envio de dados pode ser realizado por meio de pooling (por solicitação do Agente de Comunicação) ou por subscrição (na ocorrência de um evento, o IED informa o Agente de Comunicação automaticamente), em função de sua tecnologia		<u>IED</u>	<u>ACom</u>	<u>Info1-IED Dataset</u>	<u>Cat1.Reg1</u>
1.2		Coletar dados	ACom coleta dados de IEDs e os envia ao ADC		<u>ACom</u>	<u>ADC</u>	<u>Info2-Outage</u>	<u>Cat1.Reg1</u>
1.3		Receber dados	ADC aguarda timeout para receber todos os informes e associá-los ao mesmo evento		<u>ADC</u>			
1.4		Elaborar e salvar relatório	ADC localiza fisicamente a falta e elabora relatório de falta para consulta por operador. Relatório deve conter sequência inicial de chaveamentos a serem realizados para correção de descoordenação e isolamento de falta.		<u>ADC</u>	<u>ADC</u>	<u>Info3-FaultReport</u>	<u>Cat3.Reg3</u>

- 1.1. Informar atuação de chaves

Business section: Diagnosticar falta/Informar atuação de chaves

IED envia informe de atuação. O envio de dados pode ser realizado por meio de pooling (por solicitação do Agente de Comunicação) ou por subscrição (na ocorrência de um evento, o IED informa o Agente de Comunicação automaticamente), em função de sua tecnologia

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat1.Reg1</u>	Comunicação multiprotocolo

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>IED Dataset</u>		

- 1.2. Coletar dados

Business section: Diagnosticar falta/Coletar dados

ACom coleta dados de IEDs e os envia ao ADC

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat1.Reg1</u>	Comunicação multiprotocolo

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>Outage</u>		

- 1.4. Elaborar e salvar relatório

Business section: Diagnosticar falta/Elaborar e salvar relatório

ADC localiza fisicamente a falta e elabora relatório de falta para consulta por operador. Relatório deve conter sequência inicial de chaveamentos a serem realizados para correção de descoordenação e isolamento de falta.

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat3.Reg3</u>	Registro de faltas

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>FaultReport</u>		

Information exchanged

Information exchanged			
Information exchanged, ID	Name of information	Description of information exchanged	Requirement, R-IDs
Info1	IED Dataset	Dataset configurado nos IEDs para ser enviado em caso de falta na rede. Sua estrutura pode variar em função do protocolo de comunicação dos IEDs.	
Info2	Outage	Contém os dados recebidos pelo agente de Monitoramento dos IED, mapeados da IEC 61850 ao CIM.	<u>Cat2 Req2</u>
Info3	FaultReport	No relatório de falta são resumidas as informações sobre os eventos ocorridos na rede, desde as informações enviadas pelos IEDs ao SMRA, através de Datasets, até as análises de isolamento e descoordenação da proteção.	<u>Cat2 Req2</u>

Requirements (optional)

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat1	Interoperabilidade de Rede	Requisitos para promoção da interoperabilidade das redes de comunicação
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req1	Comunicação multiprotocolo	Agente de Comunicação deve ser capaz de transmitir comandos e receber dados compatíveis com os protocolos utilizados pelos IEDs (como DNP3, Modbus ou IEC 61850)

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat2	Interoperabilidade Sintática	Requisitos para promoção da interoperabilidade sintática entre dispositivos
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req2	Unicidade de IDs	A identificação (ID) do documento e dos elementos deve ser única

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat3	Registro e Auditoria	Requisitos relacionados ao registro automatizado de eventos e de procedimentos executados, para posterior análise pelo operador
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req3	Registro de faltas	SMAD deve manter o registro das faltas, assim como o histórico dos procedimentos realizados para minimizá-las, falhas e resultados.

Comandar chaves

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

Description of the use case

Name of use case

Use case identification		
ID	Area(s)/Domain(s)/Zone(s)	Name of use case
	Automação de Subestação	Comandar chaves

Version management

Version management				
Version No.	Date	Name of author(s)	Changes	Approval status
1	2019-11-04	Marcos Bressan	Primeira versão	For comments

Scope and objectives of use case

Scope and objectives of use case	
Scope	Módulos do Sistema Multiagente de Automação da Distribuição
Objective(s)	Realizar o controle de chaves a partir de comandos enviados a IEDs responsáveis
Related business case(s)	

Narrative of Use Case

Narrative of use case	
Short description	
O comando remoto de chaves é uma atividade recorrente nos processos de gerenciamento do sistema de distribuição. Processos operacionais que exigem a conexão ou desconexão elétrica de blocos de carga requerem uma rede de comunicação e dispositivos dedicados com os quais o SMAD pode se comunicar para comandar o fechamento ou a abertura de chaves.	
Complete description	
O comando remoto de chaves é uma atividade recorrente nos processos de gerenciamento do sistema de distribuição. Processos operacionais que exigem a conexão ou desconexão elétrica de blocos de carga requerem uma rede de comunicação e dispositivos dedicados com os quais o SMAD pode se comunicar para comandar o fechamento ou a abertura de chaves. O SMAD se utiliza de IEDs distribuídos ao longo do sistema elétrico de distribuição, que poderão eventualmente funcionar sob diferentes protocolos padrão de comunicação intra-subestação (como DNP3, Modbus e IEC 61850). Agentes de Comunicação (ACom) são virtualmente distribuídos ao longo da rede e atribuídos individualmente a cada relé, sendo responsáveis pela interface de comunicação entre o ambiente do SMAD (que utiliza mensagens FIPA-ACL com objetos de informação modelados com o CIM) e a zona de campo onde se localizam os IEDs.	
<u>Summary of use case</u> • Comandar chaves <u>Description:</u> Cenário principal	

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

- Executar comandos
Description: ACom executa conjunto de comandos, enviando-os aos IEDs sequencialmente
- Realizar manobras
Description: IED executa abertura/fechamento de chave

Key performance indicators (KPI)

Use case conditions

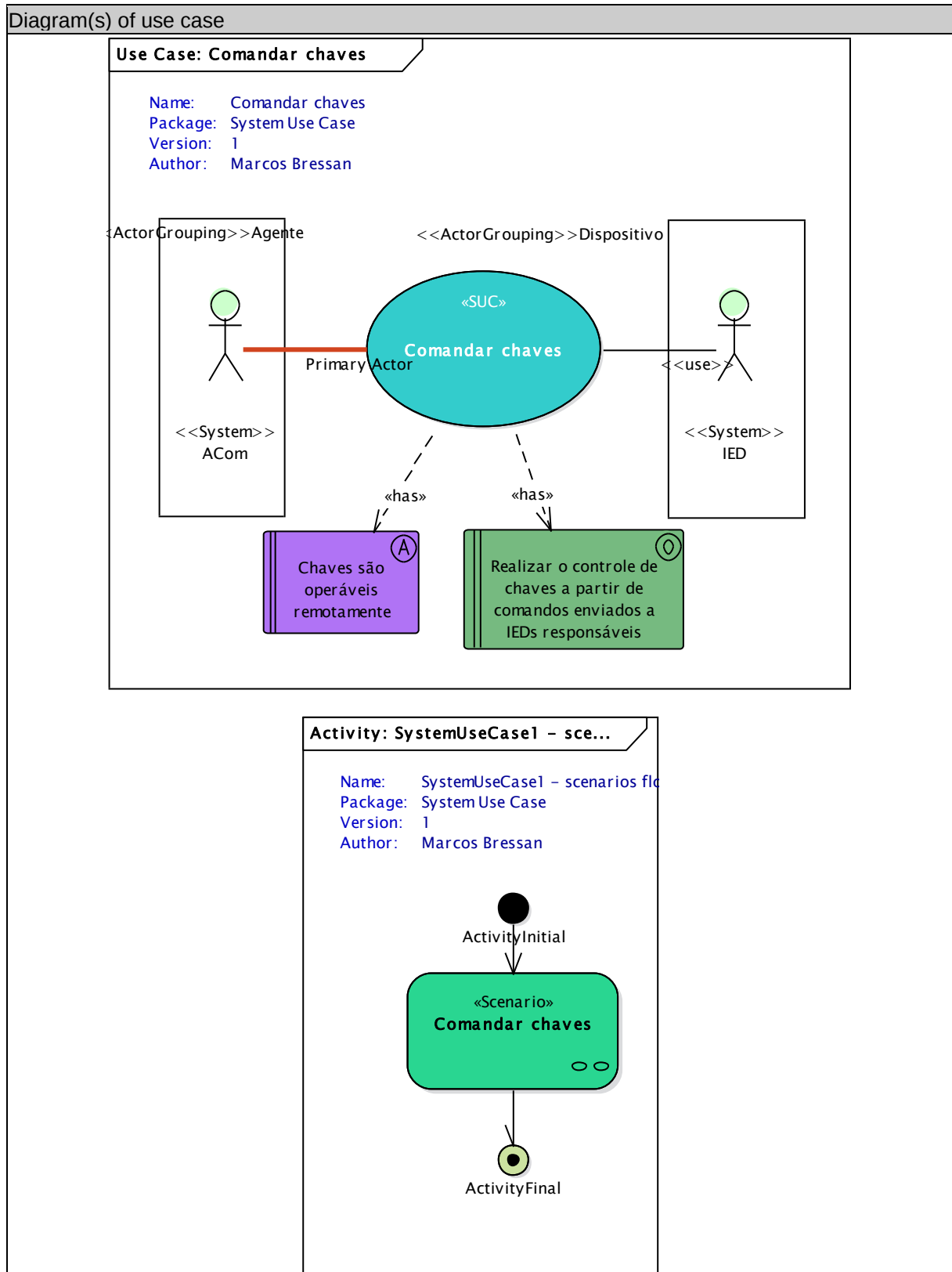
Use case conditions	
Assumptions	
1	Chaves são operáveis remotamente
Prerequisites	

Further information to the use case for classification/mapping

Classification information
Relation to other use cases
<<SUC>> Corrigir descoordenação
<<SUC>> Isolar trecho em falta
<<SUC>> Recompôr trecho a jusante do trecho em falta
<<SUC>> Negociar recomposição com subestações vizinhas
Level of depth
Detalhado
Prioritisation
Generic, regional or national relation
Genérico
Nature of the use case
SUC
Further keywords for classification
Controle remoto, Comando de chaves

General remarks

Diagrams of use case



Technical details

Actors

Actors			
Grouping (e.g. domains, zones)		Group description	
Agente		Reúne todos os agentes internos ao sistema multiagente.	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
ACom	System	O Agente de Comunicação: - Realiza a interface para a comunicação entre agentes e IED; - Coleta dados de atuação do sistema de proteção e realiza o controle de chave por meio do IED ao qual está associado; - Supervisiona estado de equipamentos primários via IED em tempo real; - Monitora restrições operativas do SMRA a partir de ações do operador (bloqueio da função 79 e funções de neutro, ativação da função <i>hot-line-tag</i>).	

Actors			
Grouping (e.g. domains, zones)		Group description	
Dispositivo		Reúne todos os dispositivos e equipamentos externos com os quais o sistema multiagente pode interagir.	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
IED	System	Intelligent Electronic Device é um dispositivo controlador baseado em microprocessador empregado para a proteção e automação de sistemas de potência, geralmente associados a outros dispositivos como disjuntores, transformadores, chaves motorizadas e bancos de capacitores.	

References

Step by step analysis of use case

Overview of scenarios

Scenario conditions						
No.	Scenario name	Scenario description	Primary actor	Triggering event	Pre-condition	Post-condition
1	Comandar chaves	Cenário principal	<u>ACom</u>			

Steps - Scenarios

Comandar chaves

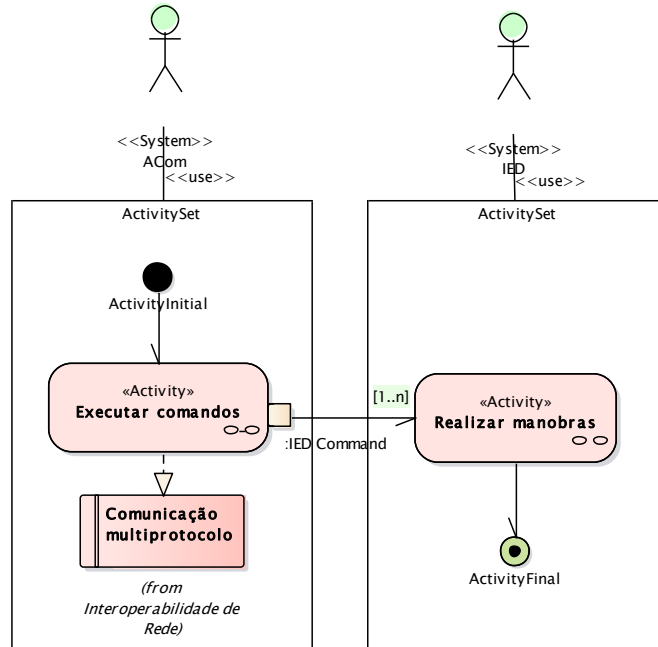
Cenário principal

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
Cat1.Reg1	Funções de proteção bloqueáveis pelo operador
Cat2.Reg2	Comunicação multiprotocolo

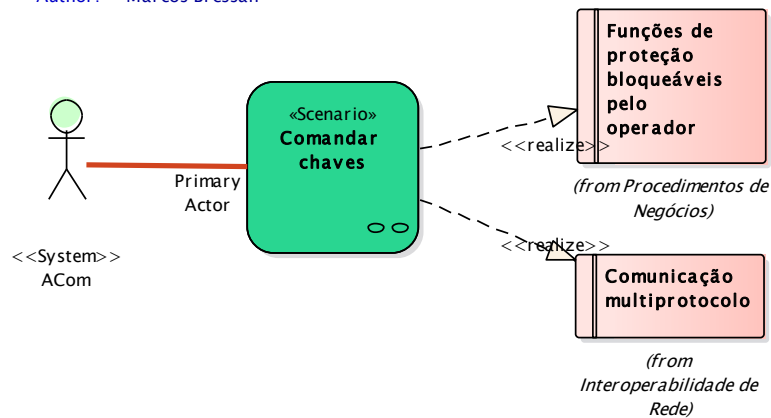
Activity: Scenario1 – activities flowchart

Name: Scenario1 – activities flowchart
 Package: System Use Case
 Version: 1
 Author: Marcos Bressan



Use Case: Scenario1 – overview

Name: Scenario1 – overview
 Package: System Use Case
 Version: 1
 Author: Marcos Bressan



Scenario step by step analysis

Scenario

Scenario name		Comandar chaves						
Step No	Event	Name of process/activity	Description of process/activity	Service	Information producer (actor)	Information receiver (actor)	Information exchanged (IDs)	Requirement, R-IDs
1.1		Executar comandos	ACom executa conjunto de comandos, enviando-os aos IEDs sequencialmente		<u>ACom</u>	<u>IED</u>	<u>Info1-IED Command</u>	<u>Cat2.Reg2</u>
1.2		Realizar manobras	IED executa abertura/fechamento de chave		<u>IED</u>			

- 1.1. Executar comandos

Business section: Comandar chaves/Executar comandos

ACom executa conjunto de comandos, enviando-os aos IEDs sequencialmente

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat2.Reg2</u>	Comunicação multiprotocolo

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>IED Command</u>		

Information exchanged

Information exchanged			
Information exchanged, ID	Name of information	Description of information exchanged	Requirement, R-IDs
Info1	IED Command	Dataset configurado nos IEDs para ser enviado em caso de falta na rede. Sua estrutura pode variar em função do protocolo de comunicação dos IEDs.	

Requirements (optional)

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat1	Procedimentos de Negócios	Reúne requisitos básicos no que diz respeito aos processos de operação e segurança da rede
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req1	Funções de proteção bloqueáveis pelo operador	Indicam existência de equipe de manutenção trabalhando (bloqueio das funções de sobrecorrente de neutro, religamento, desequilíbrio de corrente e ativação da função hot-line-tag) em que as ações de recomposição automática devem ser bloqueadas.

Requirements (optional)

Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat2	Interoperabilidade de Rede	Requisitos para promoção da interoperabilidade das redes de comunicação
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req2	Comunicação multiprotocolo	Agente de Comunicação deve ser capaz de transmitir comandos e receber dados compatíveis com os protocolos utilizados pelos IEDs (como DNP3, Modbus ou IEC 61850)

Corrigir descoordenação

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

Description of the use case

Name of use case

Use case identification		
ID	Area(s)/Domain(s)/Zone(s)	Name of use case
1	Automação de Subestação	Corrigir descoordenação

Version management

Version management				
Version No.	Date	Name of author(s)	Changes	Approval status
1	2019-11-04	Marcos Bressan	Primeira versão	For comments

Scope and objectives of use case

Scope and objectives of use case	
Scope	Sistema de Recomposição Automática
Objective(s)	Corrigir descoordenação de chaves: Restabelecer alimentação de trechos desenergizados em caso de descoordenação de proteções
Related business case(s)	

Narrative of Use Case

Narrative of use case	
Short description	
A atuação de proteções em sistemas de distribuição sob curto-circuito ocorre frequentemente de forma descoordenada, uma vez que a sobrecorrente sendo suficientemente alta poderá sensibilizar simultaneamente a função instantânea de diversos dispositivos de proteção ao longo do circuito. Neste caso, é preciso que o SMRA reconheça este evento e atue para reestabelecer os blocos indevidamente desenergizados localizados a montante do trecho em falta.	
Complete description	
A atuação de proteções em sistemas de distribuição sob curto-circuito ocorre frequentemente de forma descoordenada, uma vez que a sobrecorrente sendo suficientemente alta poderá sensibilizar simultaneamente a função instantânea de diversos dispositivos de proteção ao longo do circuito. Alguns IEDs, como aqueles dotados de comunicação por mensagens GOOSE (IEC 61850), podem ser configurados de forma a implementarem seletividade lógica, comunicando-se horizontalmente com seus pares na ocorrência de uma falta e impedindo o fechamento prematuro de chaves a montante mais afastadas do trecho em falta. Quando esta implementação é inexistente ou ocorre de forma inesperada, resultando em descoordenação, é preciso que o SMRA reconheça este evento e atue para reestabelecer os blocos indevidamente desenergizados localizados a montante do trecho em falta.	
<u>Summary of use case</u>	

- **Corrigir descoordenação**

Description: Cenário principal

- Preparar plano para coordenação de proteções
Description: ADC verifica descoordenação de proteção e prepara documento para operação de chaves
- Invocar comando de chaves
Description: ADC invoca "Comando de chaves" para fechar chaves descoordenadas
- ADC atualiza relatório de falta
Description: ADC atualiza o relatório de falta criado na etapa de diagnóstico a fim de informar que a operação de correção de descoordenação já foi realizada

Key performance indicators (KPI)

Use case conditions

Use case conditions	
Assumptions	
1	Chaves são operáveis remotamente
Prerequisites	
1	Falta localizada: A localização física da falta já foi encontrada por meio da análise de dados recebidos dos campo

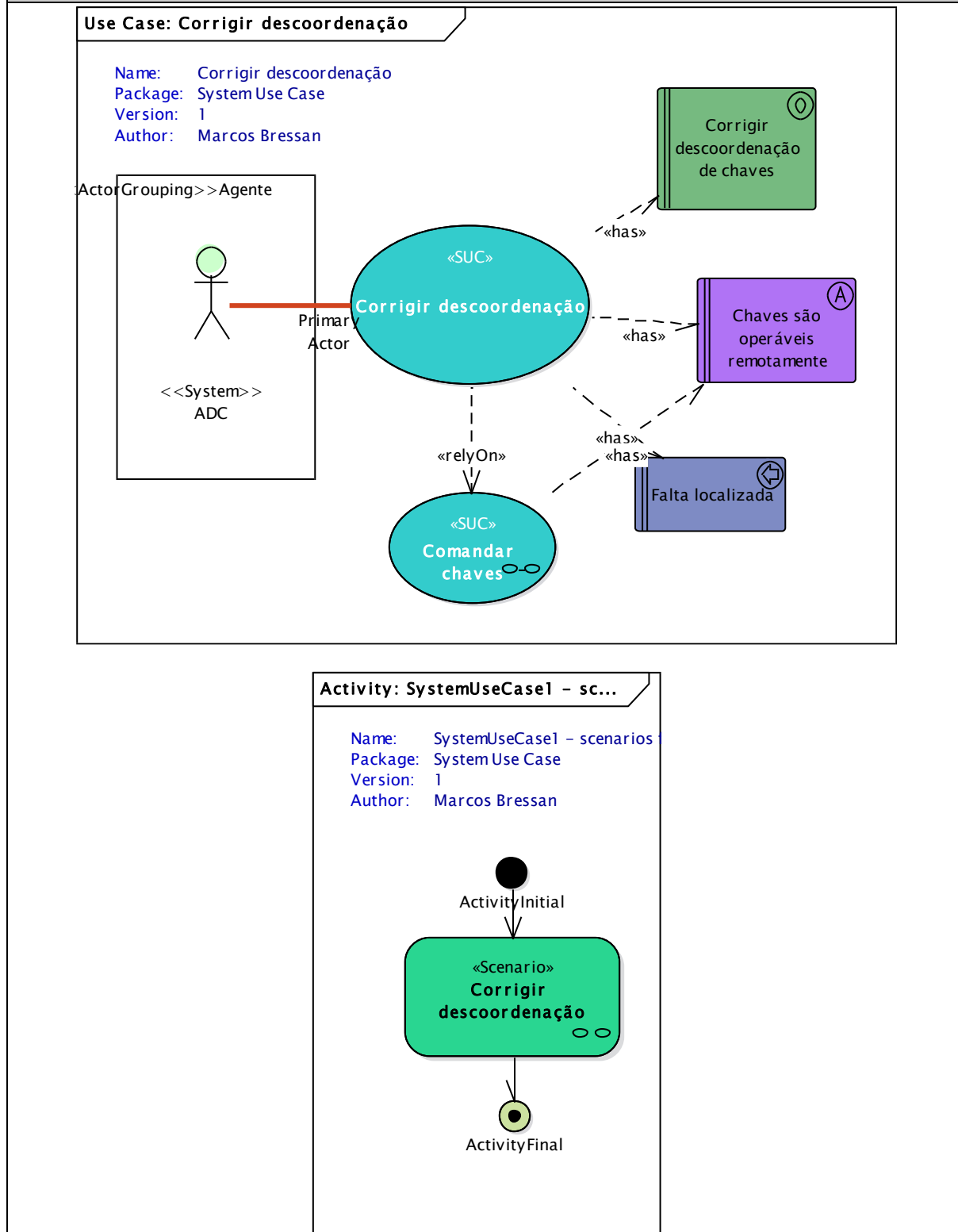
Further information to the use case for classification/mapping

Classification information
Relation to other use cases
<<BUC>> Recomposição automática <<SUC>> Comandar chaves <<SUC>> Diagnosticar falta
Level of depth
Detalhado
Prioritisation
Generic, regional or national relation
Genérico
Nature of the use case
SUC
Further keywords for classification
Descoordenação de proteção

General remarks

Diagrams of use case

Diagram(s) of use case



Technical details

Actors

Actors			
Grouping (e.g. domains, zones)		Group description	
Agente		Reúne todos os agentes internos ao sistema multiagente.	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
ADC	System	O Agente de Diagnóstico e Configuração: - Analisa as ocorrências na rede elétrica por meio de seu simulador interno; - Emite comandos de controle de chaves para o AC; - Comunica ao AN a necessidade de recomposição de trechos. - Fornece propostas de recomposição a subestações vizinhas. - Cria, atualiza e salva relatórios de falta e recomposição	

References

Step by step analysis of use case

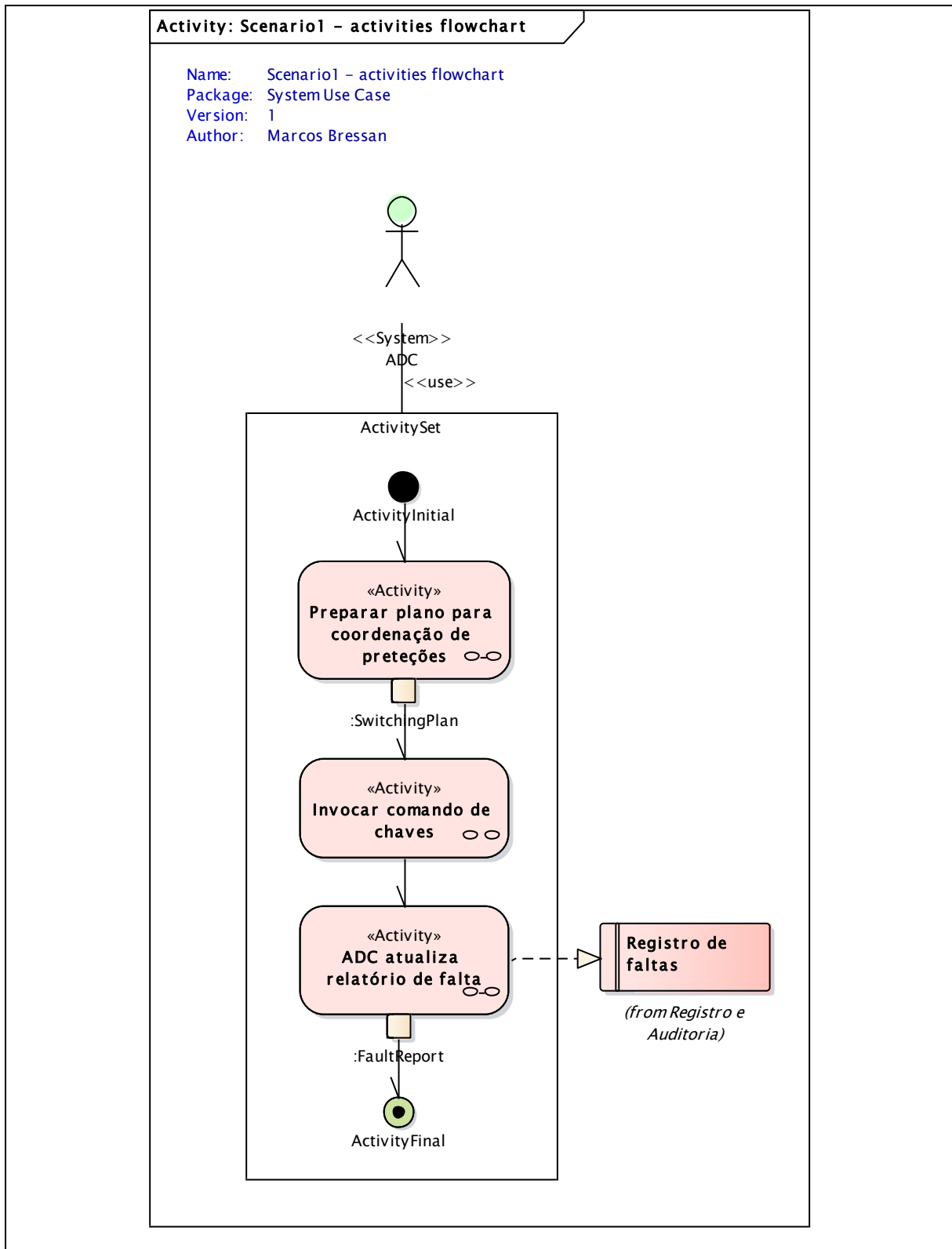
Overview of scenarios

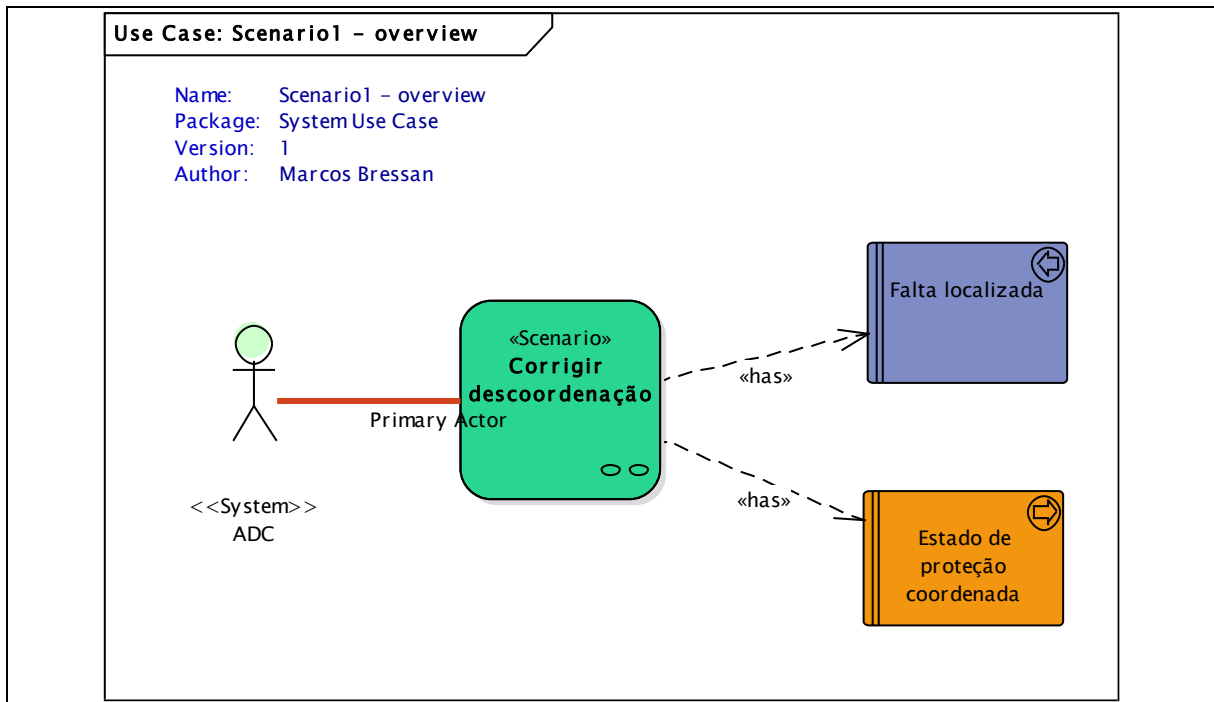
Scenario conditions						
No.	Scenario name	Scenario description	Primary actor	Triggering event	Pre-condition	Post-condition
1	Corrigir descoordenação	Cenário principal	<u>ADC</u>		Falta localizada: A localização física da falta já foi encontrada por meio da análise de dados recebidos dos campo	Estado de proteção coordenada: Somente o dispositivo de proteção mais próximo à falta garante a desenergização do trecho defeituoso.

Steps - Scenarios

Corrigir descoordenação

Cenário principal





Scenario step by step analysis

Scenario								
Scenario name		Corrigir descoordenação						
Step No	Event	Name of process/activity	Description of process/activity	Service	Information producer (actor)	Information receiver (actor)	Information exchanged (IDs)	Requirement, R-IDs
1.1		Preparar plano para coordenação de proteções	ADC verifica descoordenação de proteção e prepara documento para operação de chaves		<u>ADC</u>	<u>ADC</u>	<u>Info1-SwitchingPlan</u>	
1.2		Invocar comando de chaves	ADC invoca "Comando de chaves" para fechar chaves descoordenadas		<u>ADC</u>			
1.3		ADC atualiza relatório de falta	ADC atualiza o relatório de falta criado na etapa de diagnóstico a fim de informar que a operação de correção de descoordenação já foi realizada		<u>ADC</u>	<u>ADC</u>	<u>Info2-FaultReport</u>	<u>Cat2.Reg2</u>

- 1.1. Preparar plano para coordenação de proteções

Business section: Corrigir descoordenação/Preparar plano para coordenação de proteções

ADC verifica descoordenação de proteção e prepara documento para operação de chaves

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>SwitchingPlan</u>		

- 1.3. ADC atualiza relatório de falta

Business section: Corrigir descoordenação/ADC atualiza relatório de falta

ADC atualiza o relatório de falta criado na etapa de diagnóstico a fim de informar que a operação de correção de descoordenação já foi realizada

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat2.Reg2</u>	Registro de faltas

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>FaultReport</u>		

Information exchanged

Information exchanged			
Information exchanged, ID	Name of information	Description of information exchanged	Requirement, R-IDs
Info1	SwitchingPlan	Consiste na série de manobras que deverão ser (sequencialmente ou não) realizadas pelo Agente de Comunicação, com propósitos gerais (correção de descoordenação, isolamento de setor, fechamento de chave NA etc)	<u>Cat1 Req1</u>
Info2	FaultReport	No relatório de falta são resumidas as informações sobre os eventos ocorridos na rede, desde as informações enviadas pelos IEDs ao SMRA, através de Datasets, até as análises de isolamento e descoordenação da proteção.	<u>Cat1 Req1</u>

Requirements (optional)

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat1	Interoperabilidade Sintática	Requisitos para promoção da interoperabilidade sintática entre dispositivos
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req1	Unicidade de IDs	A identificação (ID) do documento e dos elementos deve ser única

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description

Cat2	Registro e Auditoria	Requisitos relacionados ao registro automatizado de eventos e de procedimentos executados, para posterior análise pelo operador
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req2	Registro de faltas	SMAD deve manter o registro das faltas, assim como o histórico dos procedimentos realizados para minimizá-las, falhas e resultados.

Isolar trecho em falta

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

Description of the use case

Name of use case

Use case identification		
ID	Area(s)/Domain(s)/Zone(s)	Name of use case
	Automação de Subestação	Isolar trecho em falta

Version management

Version management				
Version No.	Date	Name of author(s)	Changes	Approval status
1	2019-11-04	Marcos Bressan	Primeira versão	For comments

Scope and objectives of use case

Scope and objectives of use case	
Scope	Sistema Multiagente de Recomposição Automática
Objective(s)	Isolar o menor trecho onde ocorreu a falta dos trechos são a jusante
Related business case(s)	

Narrative of Use Case

Narrative of use case	
Short description	
Para que os trechos ainda são localizados a jusante do trecho em falta possam ser realimentados, eles devem ser desconectados do trecho defeituoso por meio da abertura da chave que os conecta eletricamente. Desta forma, é possível manter isolado o trecho em falta para que possa receber a devida manutenção, ao mesmo tempo em que os trechos funcionais a jusante são deixados livres para serem realimentados através de uma chave de recurso.	
Complete description	
A ocorrência de uma falta no sistema distribuição pode frequentemente resultar na desenergização de cargas localizadas em trechos ainda são. No caso de topologias de rede radiais com recurso, para que os trechos ainda são localizados a jusante do trecho em falta possam ser realimentados, eles devem ser desconectados do trecho defeituoso por meio da abertura da chave que os conecta eletricamente. Desta forma, é possível manter isolado o trecho em falta para que possa receber a devida manutenção, ao mesmo tempo em que os trechos funcionais a jusante são deixados livres para serem realimentados através de uma chave de recurso.	
<u>Summary of use case</u> • Isolar trecho em falta <u>Description:</u> Cenário principal ▪ Preparar plano para isolação <u>Description:</u> ADC identifica trecho em falta a ser isolado e prepara documento para operação de chaves	

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

- Invocar comando de chaves
Description: ADC invoca UC "Comando de chaves" para isolar trechos a jusante
- Atualizar relatório
Description: ADC atualiza relatório de falta

Key performance indicators (KPI)

Use case conditions

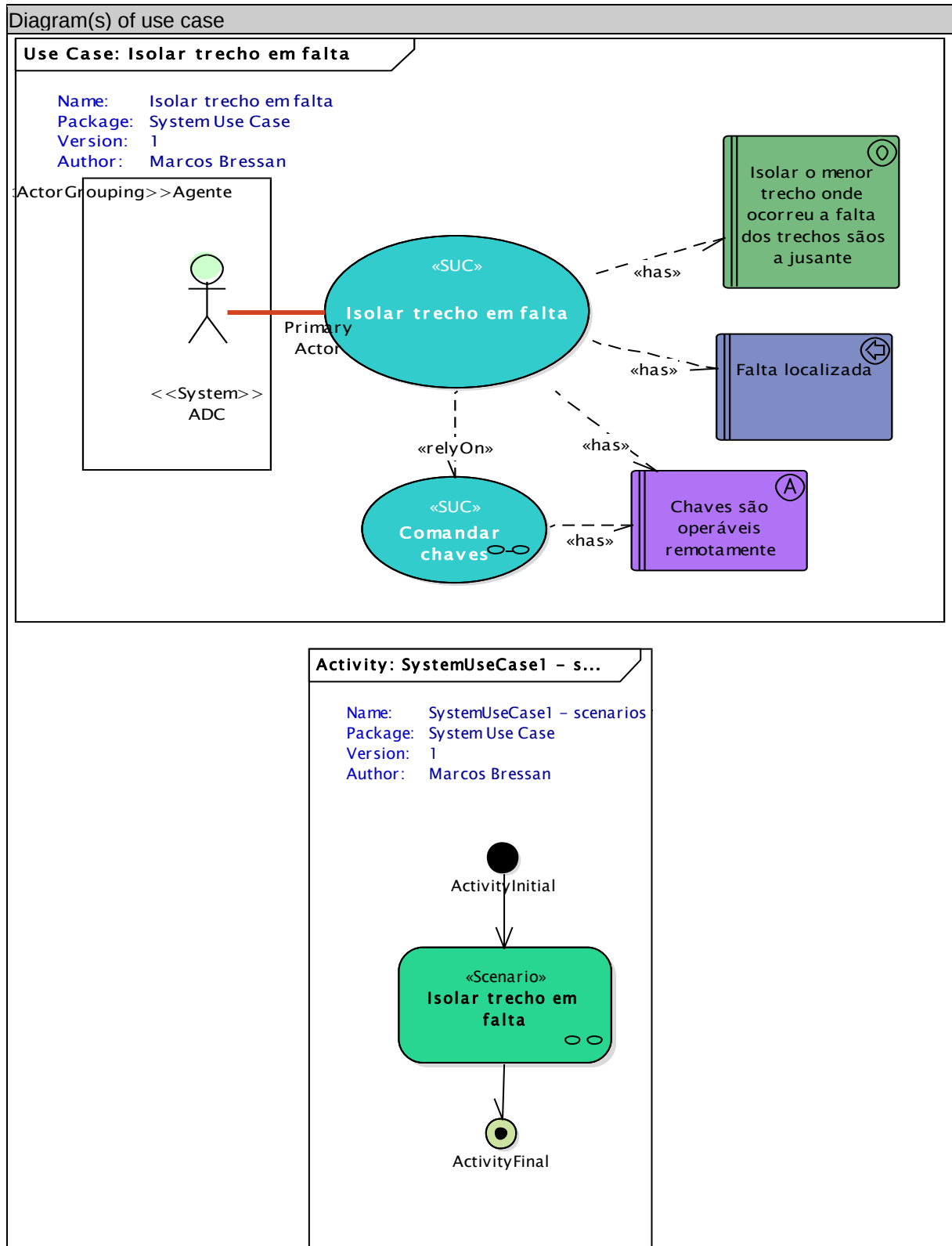
Use case conditions	
Assumptions	
1	Chaves são operáveis remotamente
Prerequisites	
1	Falta localizada: A localização física da falta já foi encontrada por meio da análise de dados recebidos dos campo.

Further information to the use case for classification/mapping

Classification information	
Relation to other use cases	
<<BUC>> Recomposição automática	
<<SUC>> Comandar chaves	
<<SUC>> Diagnosticar falta	
<<SUC>> Recompôr trecho a jusante do trecho em falta	
Level of depth	
Detalhado	
Prioritisation	
Generic, regional or national relation	
Genérico	
Nature of the use case	
SUC	
Further keywords for classification	
Isolação de falta	

General remarks

Diagrams of use case



Technical details

Actors

Actors			
Grouping (e.g. domains, zones)		Group description	
Agente		Reúne todos os agentes internos ao sistema multiagente.	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
ADC	System	O Agente de Diagnóstico e Configuração: • Analisa as ocorrências na rede elétrica por meio de seu simulador interno; • Emite comandos de controle de chaves para o AC; • Comunica ao AN a necessidade de recomposição de trechos. • Fornece propostas de recomposição a subestações vizinhas. • Cria, atualiza e salva relatórios de falta e recomposição	

References

Step by step analysis of use case

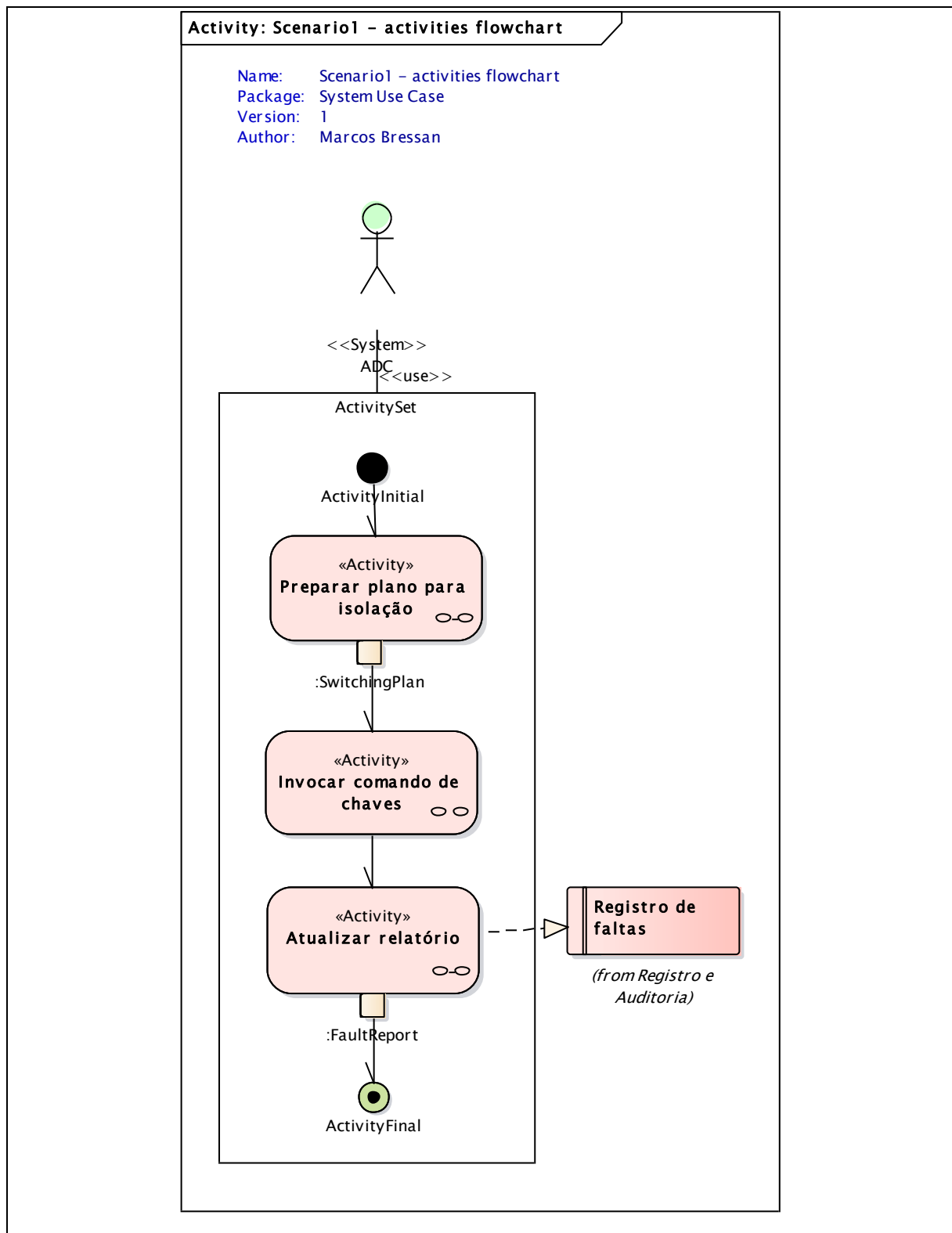
Overview of scenarios

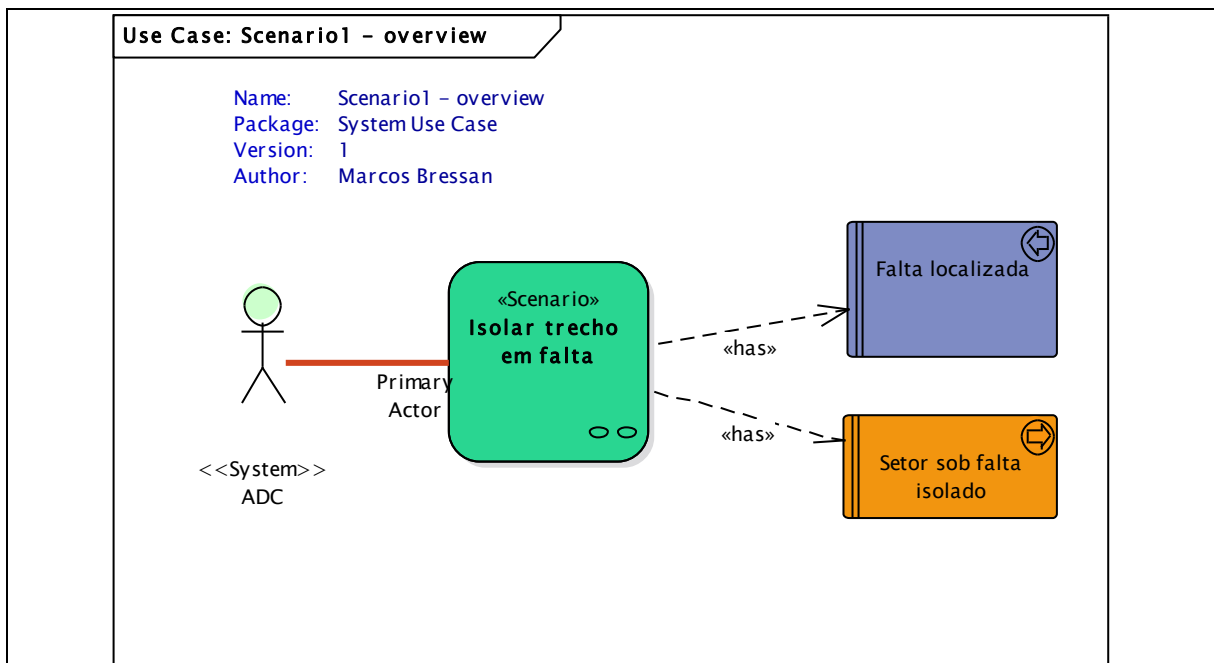
Scenario conditions						
No.	Scenario name	Scenario description	Primary actor	Triggering event	Pre-condition	Post-condition
1	Isolar trecho em falta	Cenário principal	<u>ADC</u>		Falta localizada: A localização física da falta já foi encontrada por meio da análise de dados recebidos dos campo.	Setor sob falta isolado: O setor defeituoso está eletricamente isolado das demais partes sãs do sistema

Steps - Scenarios

Isolar trecho em falta

Cenário principal





Scenario step by step analysis

Scenario								
Scenario name		Isolar trecho em falta						
Step No	Event	Name of process/activity	Description of process/activity	Service	Information producer (actor)	Information receiver (actor)	Information exchanged (IDs)	Requirement, R-IDs
1.1		Preparar plano para isolação	ADC identifica trecho em falta a ser isolado e prepara documento para operação de chaves		<u>ADC</u>	<u>ADC</u>	<u>Info1-SwitchingPlan</u>	
1.2		Invocar comando de chaves	ADC invoca UC "Comando de chaves" para isolar trechos a jusante		<u>ADC</u>			
1.3		Atualizar relatório	ADC atualiza relatório de falta		<u>ADC</u>	<u>ADC</u>	<u>Info2-FaultReport</u>	<u>Cat2.Reg2</u>

- 1.1. Preparar plano para isolação

Business section: Isolar trecho em falta/Preparar plano para isolação

ADC identifica trecho em falta a ser isolado e prepara documento para operação de chaves

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>SwitchingPlan</u>		

- 1.3. Atualizar relatório

Business section: Isolar trecho em falta/Atualizar relatório

ADC atualiza relatório de falta

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat2.Reg2</u>	Registro de faltas

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>FaultReport</u>		

Information exchanged

Information exchanged			
Information exchanged, ID	Name of information	Description of information exchanged	Requirement, R-IDs
Info1	SwitchingPlan	Consiste na série de manobras que deverão ser (sequencialmente ou não) realizadas pelo Agente de Comunicação, com propósitos gerais (correção de descoordenação, isolamento de setor, fechamento de chave NA etc)	<u>Cat1 Req1</u>
Info2	FaultReport	No relatório de falta são resumidas as informações sobre os eventos ocorridos na rede, desde as informações enviadas pelos IEDs ao SMRA, através de Datasets, até as análises de isolamento e descoordenação da proteção.	<u>Cat1 Req1</u>

Requirements (optional)

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat1	Interoperabilidade Sintática	Requisitos para promoção da interoperabilidade sintática entre dispositivos
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req1	Unicidade de IDs	A identificação (ID) do documento e dos elementos deve ser única

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat2	Registro e Auditoria	Requisitos relacionados ao registro automatizado de eventos e de procedimentos executados, para posterior análise pelo operador
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req2	Registro de faltas	SMAD deve manter o registro das faltas, assim como o histórico dos procedimentos realizados para minimizá-las, falhas e resultados.

Recompor trecho a jusante do trecho em falta

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

Description of the use case

Name of use case

Use case identification		
ID	Area(s)/Domain(s)/Zone(s)	Name of use case
1	Automação de Subestação	Recompor trecho a jusante do trecho em falta

Version management

Version management				
Version No.	Date	Name of author(s)	Changes	Approval status
1	2019-11-04	Marcos Bressan	Primeira versão	For comments

Scope and objectives of use case

Scope and objectives of use case	
Scope	Sistema Multiagente de Recomposição Automática
Objective(s)	Recompor trecho desalimentado: Reestabelecer alimentação de trechos são a jusante do trecho em falta por meio de chave de recurso conectada a outro alimentador.
Related business case(s)	

Narrative of Use Case

Narrative of use case	
Short description	
Para que os trechos são sejam devidamente reenergizados, o SMAD deve dispor de chaves de recurso pelas quais alimentadores alternativos poderão fornecer a potência necessária para os trechos inativos. É possível ainda que subestações vizinhas colaborem com a realimentação destes trechos através do fechamento de chaves de encontro entre dois alimentadores de ambas as subestações.	
Complete description	
A ocorrência de uma falta no sistema de distribuição resulta frequentemente em desenergização de cargas localizadas em trechos ainda funcionais a jusante do trecho defeituoso. Para que os trechos são sejam devidamente reenergizados, o SMAD deve dispor de chaves de recurso pelas quais alimentadores alternativos poderão fornecer a potência necessária para os trechos inativos. É possível ainda que subestações vizinhas colaborem com a realimentação destes trechos através do fechamento de chaves de encontro entre dois alimentadores de ambas as subestações. Em qualquer dos casos, o SMRA de ambas as subestações deve ser capaz de realizar o estudo do impacto de mudança do estado da rede elétrica, por meio da execução de cálculos para simulação do fluxo de carga, de forma a não se distanciar dos níveis ideais de tensão de fornecimento, corrente nos cabos condutores e potência de sobrecarga de alimentadores. A recomposição dos trechos pode ser parcial ou completa.	

Summary of use case

- **Recompor pela própria subestação**

Description: Cenário principal

- Preparar plano para recomposição
Description: ADC verifica trechos a jusante da falta a serem recompostos e prepara documento para operação de chaves
- Elaborar e salvar relatório
Description: ADC cria e salva relatório de restauração para consulta por operador
- Invocar comando de chaves
Description: ADC invoca UC "Comando de chaves" para alimentar trechos são desenergizados. É possível que somente parte dos trechos possa ser recomposta; neste caso, o pacote também deverá incluir a abertura de chaves intermediárias antes do fechamento da chave de recurso, isolando um trecho maior da rede.

- **Recompor por subestação vizinha**

Description: Cenário alternativo

- Abrir chaves antes da negociação
Description: ADC lista setores desenergizados e invoca UC "Comando de chaves" para abrir todas as chaves intermediárias (contidas nestes setores) antes de iniciar a negociação
- Enviar topologia dos setores desenergizados
Description: ADC lista setores inadvertidamente desenergizados e envia o conjunto ao AN
- Negociar recomposição
Description: AN inicia UC "Negociar recomposição com subestações vizinhas"
- Encaminhar relatório
Description: AN envia relatório de recomposição ao ADC

Key performance indicators (KPI)

Use case conditions

Use case conditions	
Assumptions	
1	Desbloqueio de funções de proteção: As funções de proteção não devem estar bloqueadas, caso contrário é possível que haja equipes em campo realizando operações locais.
2	Chaves são operáveis remotamente
Prerequisites	
1	Setor sob falta isolado: O trecho a ser recomposto está eletricamente isolado do trecho defeituoso

Further information to the use case for classification/mapping

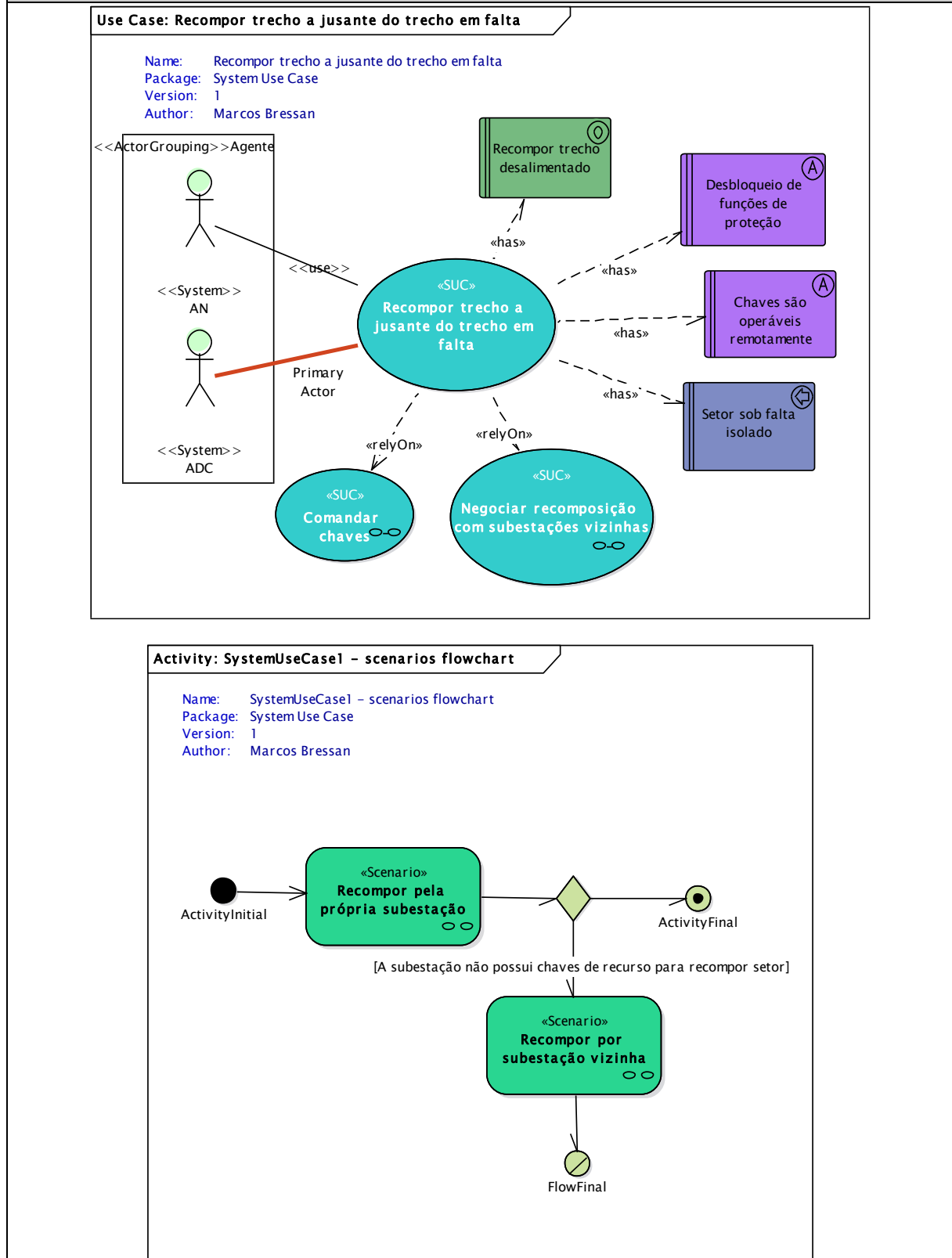
Classification information
Relation to other use cases

<<BUC>> Recomposição automática
<<SUC>> Comandar chaves
<<SUC>> Isolar trecho em falta
<<SUC>> Negociar recomposição com subestações vizinhas
Level of depth
Detalhado
Prioritisation
Generic, regional or national relation
Genérico
Nature of the use case
SUC
Further keywords for classification
Recomposição, Realimentação

General remarks

Diagrams of use case

Diagram(s) of use case



Technical details

Actors

Actors			
Grouping (e.g. domains, zones)		Group description	
Agente		Reúne todos os agentes internos ao sistema multiagente.	
Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
ADC	System	O Agente de Diagnóstico e Configuração: - Analisa as ocorrências na rede elétrica por meio de seu simulador interno; - Emite comandos de controle de chaves para o AC; - Comunica ao AN a necessidade de recomposição de trechos. - Fornecer propostas de recomposição a subestações vizinhas. - Cria, atualiza e salva relatórios de falta e recomposição	
AN	System	O Agente de Negociação é responsável pela negociação com SMAD de outra subestação para recomposição de trechos são.	

References

Step by step analysis of use case

Overview of scenarios

Scenario conditions						
No.	Scenario name	Scenario description	Primary actor	Triggering event	Pre-condition	Post-condition
1	Recompor pela própria subestação	Cenário principal	<u>ADC</u>		Setor sob falta isolado: O trecho a ser recomposto está eletricamente isolado do trecho defeituoso	Trecho recomposto pela própria subestação: Trecho são reenergizado por outro alimentador da mesma subestação
2	Recompor por subestação vizinha	Cenário alternativo	<u>ADC</u>		Setor sob falta isolado: O trecho a ser recomposto está eletricamente isolado do trecho defeituoso	Trecho recomposto por subestação colaboradora: Trecho são reenergizado por alimentador de outra subestação (subestação colaboradora)

Steps - Scenarios

Recompor pela própria subestação

Cenário principal

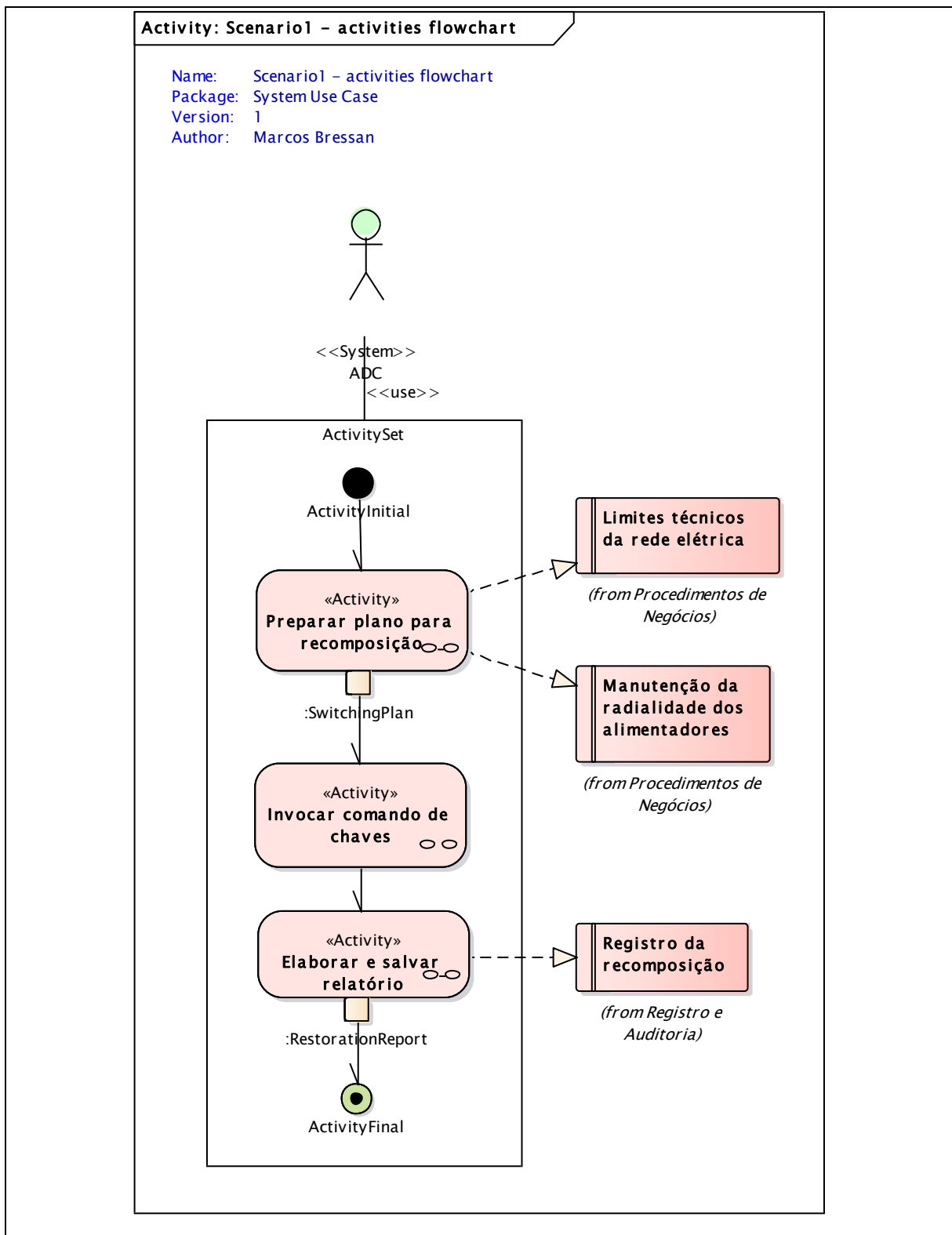
Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

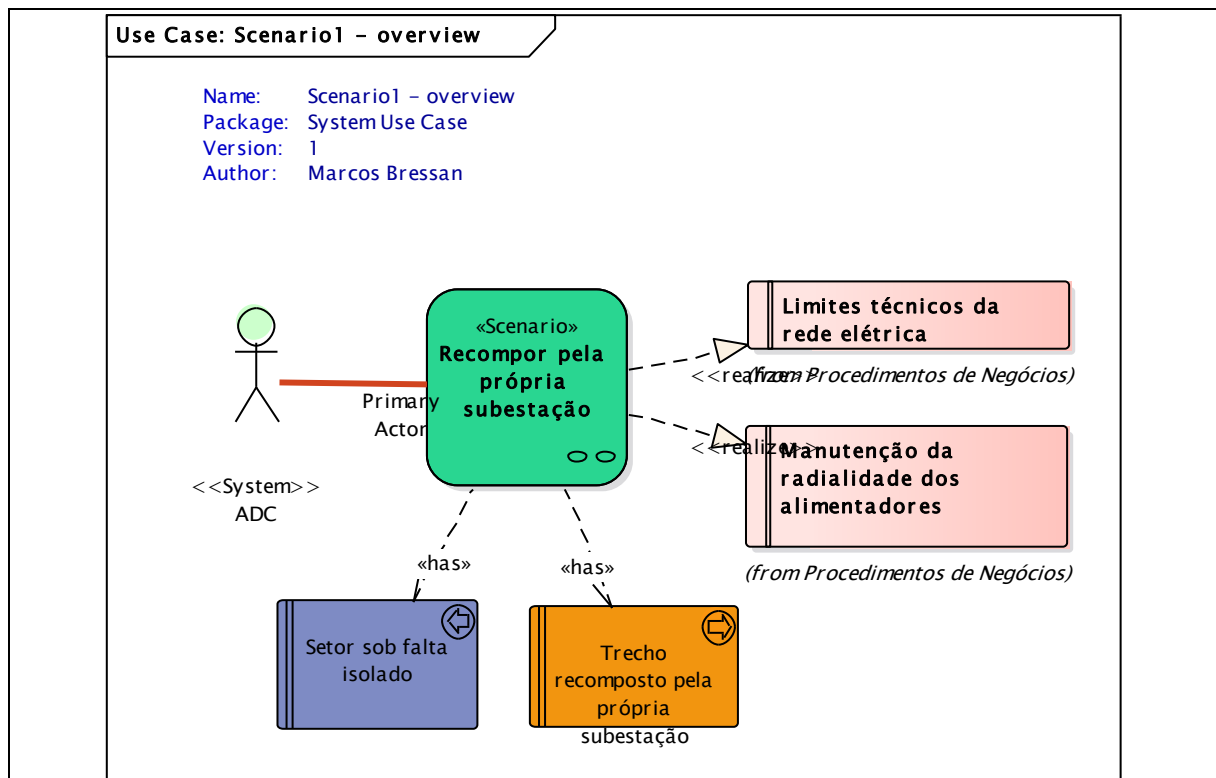
Requirement R-ID	Requirement name
------------------	------------------

Based on IEC 62559-2 edition 1

Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

<u>Cat1.Reg1</u>	Limites técnicos da rede elétrica
<u>Cat1.Reg2</u>	Manutenção da radialidade dos alimentadores





Scenario step by step analysis

Scenario								
Scenario name		Recompôr pela própria subestação						
Step No	Event	Name of process/activity	Description of process/activity	Service	Information producer (actor)	Information receiver (actor)	Information exchanged (IDs)	Requirement, R-IDs
1.1		Preparar plano para recomposição	ADC verifica trechos a jusante da falta a serem recompostos e prepara documento para operação de chaves		ADC	ADC	Info1-SwitchingPlan	Cat1.Reg2, Cat1.Reg1
1.2		Elaborar e salvar relatório	ADC cria e salva relatório de restauração para consulta por operador		ADC	ADC	Info2-RestorationReport	Cat3.Reg4
1.3		Invocar comando de chaves	ADC invoca UC "Comando de chaves" para alimentar trechos são desenergizados. É possível que somente parte dos		ADC			

			trechos possa ser recomposta; neste caso, o pacote também deverá incluir a abertura de chaves intermediárias antes do fechamento da chave de recurso, isolando um trecho maior da rede.					
--	--	--	---	--	--	--	--	--

- 1.1. Preparar plano para recomposição

Business section: Recompôr pela própria subestação/Preparar plano para recomposição

ADC verifica trechos a jusante da falta a serem recompostos e prepara documento para operação de chaves

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat1.Reg2</u>	Manutenção da radialidade dos alimentadores
<u>Cat1.Reg1</u>	Limites técnicos da rede elétrica

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>SwitchingPlan</u>		

- 1.2. Elaborar e salvar relatório

Business section: Recompôr pela própria subestação/Elaborar e salvar relatório

ADC cria e salva relatório de restauração para consulta por operador

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat3.Reg4</u>	Registro da recomposição

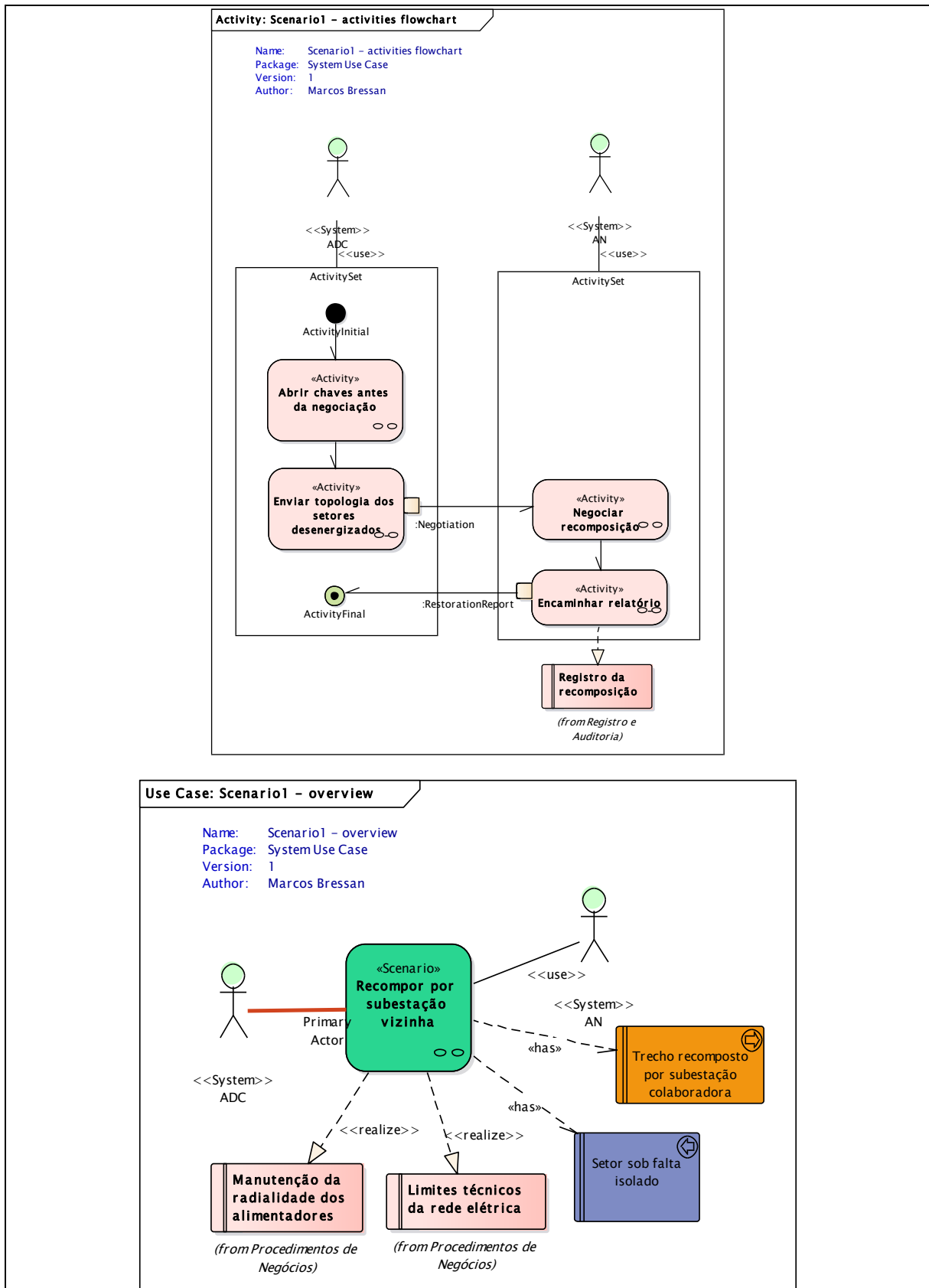
Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>RestorationReport</u>		

Recompôr por subestação vizinha

Cenário alternativo

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat1.Reg1</u>	Limites técnicos da rede elétrica
<u>Cat1.Reg2</u>	Manutenção da radialidade dos alimentadores



Scenario step by step analysis

Scenario

Scenario name		Recompor por subestação vizinha						
Step No	Event	Name of process/activity	Description of process/activity	Service	Information producer (actor)	Information receiver (actor)	Information exchanged (IDs)	Requirement, R-IDs
2.1		Abrir chaves antes da negociação	ADC lista setores desenergizados e invoca UC "Comando de chaves" para abrir todas as chaves intermediárias (contidas nestes setores) antes de iniciar a negociação		<u>ADC</u>			
2.2		Enviar topologia dos setores desenergizados	ADC lista setores inadvertidamente desenergizados e envia o conjunto ao AN		<u>ADC</u>	<u>AN</u>	<u>Info3-Negotiation</u>	
2.3		Negociar recomposição	AN inicia UC "Negociar recomposição com subestações vizinhas"		<u>AN</u>			
2.4		Encaminhar relatório	AN envia relatório de recomposição ao ADC		<u>AN</u>	<u>ADC</u>	<u>Info2-RestorationReport</u>	<u>Cat3.Reg4</u>

- 2.2. Enviar topologia dos setores desenergizados

Business section: Recompor por subestação vizinha/Enviar topologia dos setores desenergizados

ADC lista setores inadvertidamente desenergizados e envia o conjunto ao AN

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>Negotiation</u>		

- 2.4. Encaminhar relatório

Business section: Recompor por subestação vizinha/Encaminhar relatório

AN envia relatório de recomposição ao ADC

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)

Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat3.Reg4</u>	Registro da recomposição

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description

Based on IEC 62559-2 edition 1

Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

RestorationReport		
-------------------	--	--

Information exchanged

Information exchanged			
Information exchanged, ID	Name of information	Description of information exchanged	Requirement, R-IDs
Info1	SwitchingPlan	Consiste na série de manobras que deverão ser (sequencialmente ou não) realizadas pelo Agente de Comunicação, com propósitos gerais (correção de descoordenação, isolamento de setor, fechamento de chave NA etc)	Cat2 Req3
Info2	RestorationReport	O relatório de recomposição apresenta ao operador os critérios restritivos utilizados no processo de recomposição automática. Além disso, o relatório contempla informações sobre os blocos de carga reenergizados no processo de recomposição.	Cat2 Req3
Info3	Negotiation	Contém informações sobre o setor que foi desenergizado indevidamente, para o qual se deseja restaurar a alimentação através de negociação com uma subestação vizinha.	Cat2 Req3

Requirements (optional)

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat1	Procedimentos de Negócios	Reúne requisitos básicos no que diz respeito aos processos de operação e segurança da rede
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req1	Limites técnicos da rede elétrica	- Capacidade limitada de condução dos condutores através da limitação da corrente nominal atravessando o material. - Manutenção das tensões ao longo da linha dentro das margens estabelecidas pela legislação em vigor. - Limite da potência a ser demandada de cada transformador da subestação.
Req2	Manutenção da radialidade dos alimentadores	A topologia da rede ativa deve ser mantida radial a todo instante.

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat2	Interoperabilidade Sintática	Requisitos para promoção da interoperabilidade sintática entre dispositivos
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req3	Unicidade de IDs	A identificação (ID) do documento e dos elementos deve ser única

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat3	Registro e Auditoria	Requisitos relacionados ao registro automatizado de eventos e de procedimentos executados, para posterior análise pelo operador
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req4	Registro da recomposição	SMAD deve manter o registro das recomposições, assim como o histórico dos procedimentos realizados para alcançá-las, critérios de seleção de propostas, falhas de processo e resultados.

Negociar recomposição com subestações vizinhas

Based on IEC 62559-2 edition 1
Generated from UML Use Case Repository with Modsarus® (EDF R&D Tool)

Description of the use case

Name of use case

Use case identification		
ID	Area(s)/Domain(s)/Zone(s)	Name of use case
1	Automação de Subestação	Negociar recomposição com subestações vizinhas

Version management

Version management				
Version No.	Date	Name of author(s)	Changes	Approval status
1	2019-11-04	Marcos Bressan	Primeira versão	For comments

Scope and objectives of use case

Scope and objectives of use case	
Scope	Sistema Multiagente de Recomposição Automática
Objective(s)	Negociar recomposição: Solicitar e recompor trecho desalimentado através de outra subestação
Related business case(s)	

Narrative of Use Case

Narrative of use case	
Short description	
Nos casos válidos, a recomposição de trechos indevidamente desenergizados pode ser realizada com o auxílio de subestações vizinhas, que poderão colaborar com a realimentação destes trechos através do fechamento de chaves de encontro entre dois alimentadores de ambas as subestações.	
Complete description	
Nos casos válidos, a recomposição de trechos indevidamente desenergizados pode ser realizada com o auxílio de subestações vizinhas, que poderão colaborar com a realimentação destes trechos através do fechamento de chaves de encontro entre dois alimentadores de ambas as subestações. O processo de negociação se inicia com a solicitação de propostas de recomposição a todas as subestações vizinhas, que poderão fornecer respostas variáveis em função da localização das chaves de encontro que estas possuem em comum com a subestação solicitante. Uma proposta pode cobrir parte ou a totalidade dos setores desenergizados em função da capacidade de suprimento de cada subestação em termos de faixa de tensão admitida, corrente máxima em condutores e potência máxima de alimentadores. A subestação vizinha pode ainda optar por não enviar nenhuma proposta. O SMAD solicitante deve fornecer respostas individuais para indicar aceitação ou recusa de cada uma das propostas. Os critérios para avaliação do conjunto de propostas devem ser previamente configurados junto ao Agente de Negociação (AN).	
<u>Summary of use case</u>	

- **Negociar recomposição com subestações vizinhas**

Description: Cenário principal

- Solicitar propostas de recomposição
Description: AN envia podas para ADC(s) Colaborador(es) solicitando propostas de recomposição
- Propor ou recusar solicitação
Description: ADC Colaborador analisa a possibilidade de recomposição do setor e envia resposta
- Receber propostas
Description: AN recebe respostas de todas as SE's vizinhas
- Selecionar propostas
Description: AN seleciona as propostas que atendem melhor aos critérios
- Rejeitar proposta
Description: AN anuncia rejeição de proposta ao ADC Colaborador
- Aceitar proposta
Description: AN envia confirmação ao ADC Colaborador vencedor
- Invocar UC de comando de chaves
Description: ADC Colaborador inicia UC "Comandar chaves" para realimentar setor
- Informar conclusão e enviar relatório
Description: ADC Colaborador anuncia conclusão de manobras e envia relatório de recomposição ao AN
- Receber e complementar relatório
Description: AN recebe relatório de recomposição e o complementa com informações adicionais, como o critério de seleção das propostas

Key performance indicators (KPI)

Use case conditions

Use case conditions	
Assumptions	
1	Comunicação entre subestações ativa
Prerequisites	
1	Critérios para avaliação de propostas: Os critérios para avaliação do conjunto de propostas estão devidamente configurados junto ao Agente de Negociação (AN).

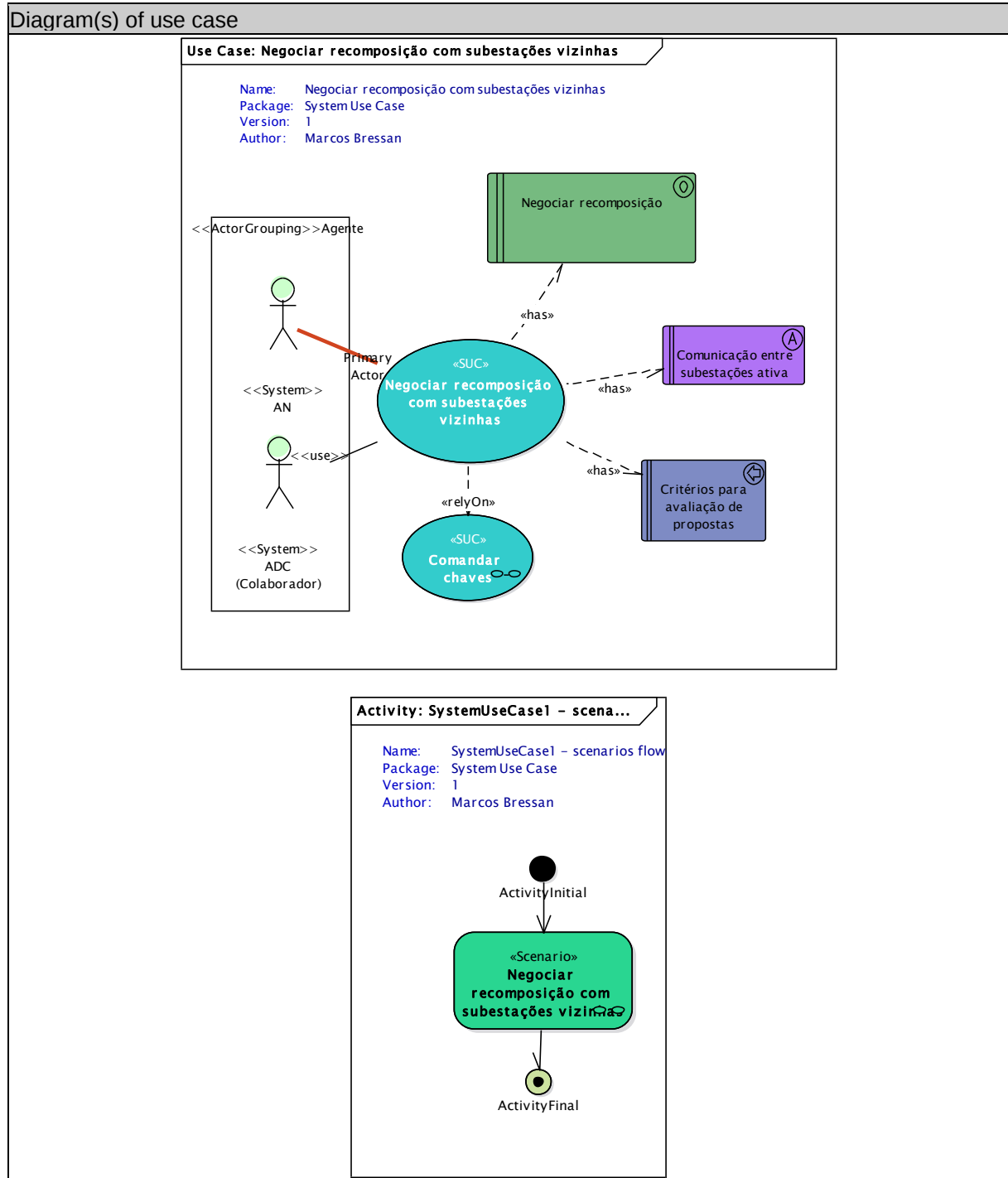
Further information to the use case for classification/mapping

Classification information	
Relation to other use cases	
<<SUC>> Comandar chaves	
<<SUC>> Recompôr trecho a jusante do trecho em falta	
Level of depth	
Detalhado	
Prioritisation	

Generic, regional or national relation
Genérico
Nature of the use case
SUC
Further keywords for classification
Negociação de recomposição

General remarks

Diagrams of use case



Technical details

Actors

Actors	
Grouping (e.g. domains, zones)	Group description
Agente	Reúne todos os agentes internos ao sistema multiagente.

Actor name	Actor type	Actor description	Further information specific to this use case
AN	System	O Agente de Negociação é responsável pela negociação com SMAD de outra subestação para recomposição de trechos sãos.	
ADC (Colaborador)	System	O Agente de Diagnóstico e Configuração da subestação colaboradora, representando unicamente a tarefa de fornecer propostas de recomposição a subestações vizinhas.	

References

Step by step analysis of use case

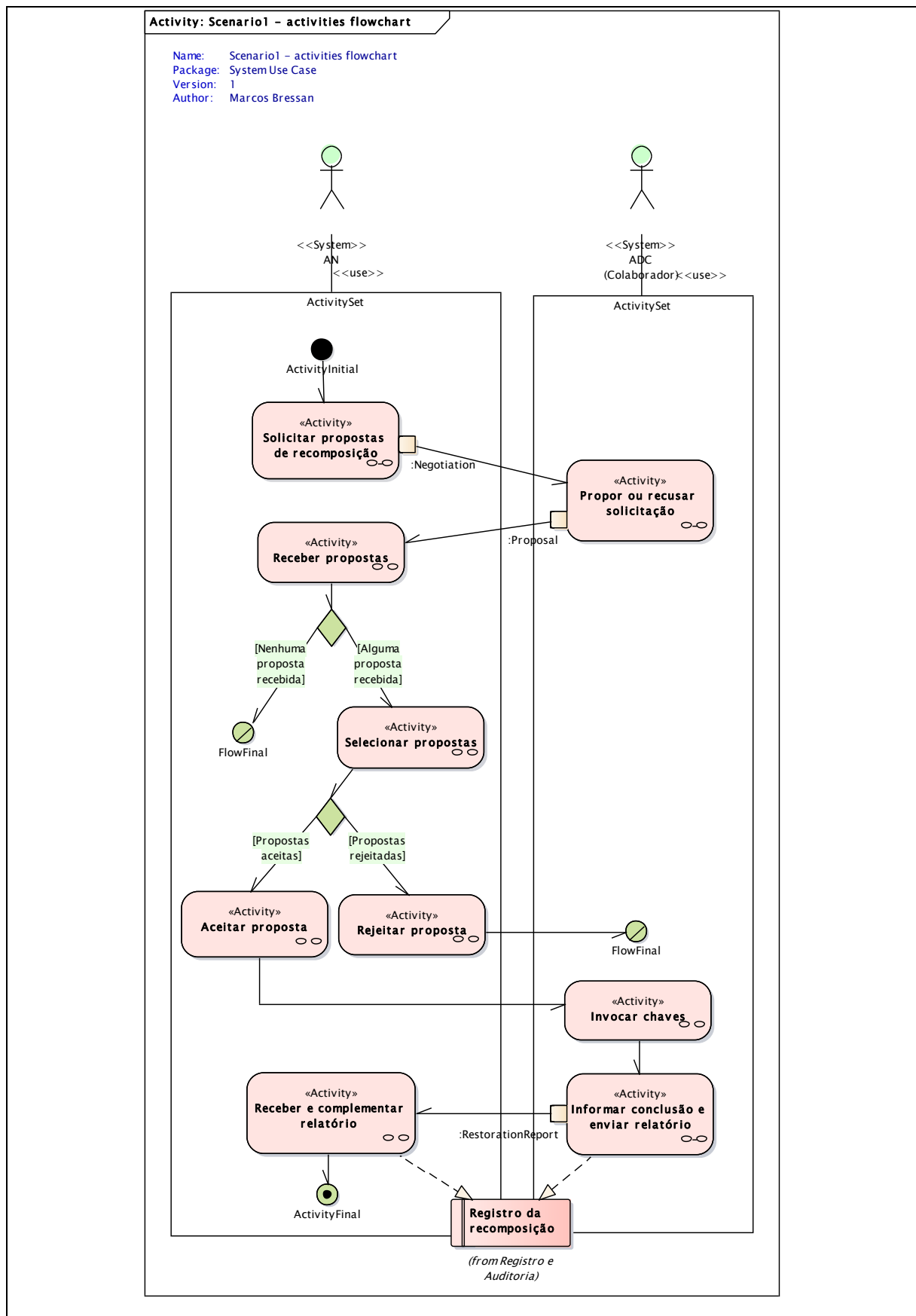
Overview of scenarios

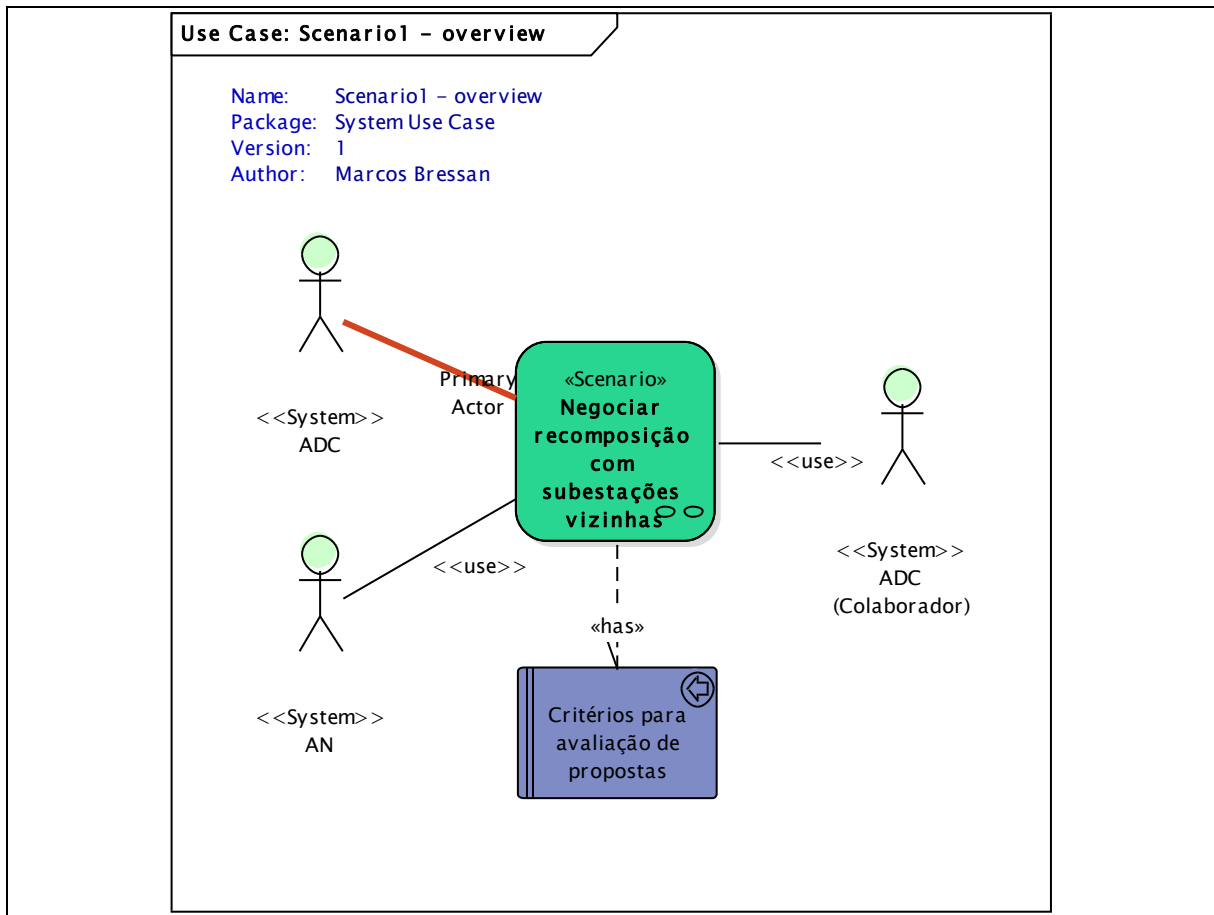
Scenario conditions						
No.	Scenario name	Scenario description	Primary actor	Triggering event	Pre-condition	Post-condition
1	Negociar recomposição com subestações vizinhas	Cenário principal	<u>ADC</u>		Critérios para avaliação de propostas: Os critérios para avaliação do conjunto de propostas estão devidamente configurados junto ao Agente de Negociação (AN).	

Steps - Scenarios

Negociar recomposição com subestações vizinhas

Cenário principal





Scenario step by step analysis

Scenario								
Scenario name		Negociar recomposição com subestações vizinhas						
Step No	Event	Name of process/activity	Description of process/activity	Service	Information producer (actor)	Information receiver (actor)	Information exchanged (IDs)	Requirements, R-IDs
1.1		Solicitar propostas de recomposição	AN envia propostas para ADC(s) Colaborador(e)s solicitando propostas de recomposição		AN	ADC (Colaborador)	Info1-Negotiation	
1.2		Propor ou recusar solicitação	ADC Colaborador analisa a possibilidade de recomposição do setor e envia resposta		ADC (Colaborador)	AN	Info2-Proposal	
1.3		Receber propostas	AN recebe respostas de todas as SE's vizinhas		AN			

1.4		Selecionar propostas	AN seleciona as propostas que atendem melhor aos critérios		<u>AN</u>			
1.5		Rejeitar proposta	AN anuncia rejeição de proposta ao ADC Colaborador		<u>AN</u>			
1.6		Aceitar proposta	AN envia confirmação ao ADC Colaborador vencedor		<u>AN</u>			
1.7		Invocar UC de comando de chaves	ADC Colaborador inicia UC "Comandar chaves" para realimentar setor		<u>ADC (Colaborador)</u>			
1.8		Informar conclusão e enviar relatório	ADC Colaborador anuncia conclusão de manobras e envia relatório de recomposição ao AN		<u>ADC (Colaborador)</u>	<u>AN</u>	<u>Info3-RestorationReport</u>	<u>Cat2.Reg2</u>
1.9		Receber e complementar relatório	AN recebe relatório de recomposição e o complementa com informações adicionais, como o critério de seleção das propostas		<u>AN</u>			<u>Cat2.Reg2</u>

- 1.1. Solicitar propostas de recomposição

Business section: Negociar recomposição com subestações vizinhas/Solicitar propostas de recomposição

AN envia podas para ADC(s) Colaborador(es) solicitando propostas de recomposição
Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>Negotiation</u>		

- 1.2. Propor ou recusar solicitação

Business section: Negociar recomposição com subestações vizinhas/Propor ou recusar solicitação

ADC Colaborador analisa a possibilidade de recomposição do setor e envia resposta

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>Proposal</u>		

- 1.8. Informar conclusão e enviar relatório

Business section: Negociar recomposição com subestações vizinhas/Informar conclusão e enviar relatório

ADC Colaborador anuncia conclusão de manobras e envia relatório de recomposição ao AN

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat2.Reg2</u>	Registro da recomposição

Information sent:

Business object	Instance name	Instance description
<u>RestorationReport</u>		

- 1.9. Receber e complementar relatório

Business section: Negociar recomposição com subestações vizinhas/Receber e complementar relatório

AN recebe relatório de recomposição e o complementa com informações adicionais, como o critério de seleção das propostas

Requirement list (refer to "Requirement" section for more information)	
Requirement R-ID	Requirement name
<u>Cat2.Reg2</u>	Registro da recomposição

Information exchanged

Information exchanged			
Information exchanged, ID	Name of information	Description of information exchanged	Requirement, R-IDs
Info1	Negotiation	Contém informações sobre o setor que foi desenergizado indevidamente, para o qual se deseja restaurar a alimentação através de negociação com uma subestação vizinha.	<u>Cat1_Reg1</u>
Info2	Proposal	Modela a proposta retornada pelos agentes Diagnóstico (caso a <i>solicitação de proposta - call for proposal</i> - não tenha sido diretamente recusada). Contém a poda que é possível de ser restaurada e o carregamento final da subestação	<u>Cat1_Reg1</u>
Info3	RestorationReport	O relatório de recomposição apresenta ao operador os critérios restritivos utilizados no processo de recomposição automática. Além disso, o relatório contempla informações sobre os blocos de carga reenergizados no processo de recomposição.	<u>Cat1_Reg1</u>

Requirements (optional)

Requirements (optional)

Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat1	Interoperabilidade Sintática	Requisitos para promoção da interoperabilidade sintática entre dispositivos
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req1	Unicidade de IDs	A identificação (ID) do documento e dos elementos deve ser única

Requirements (optional)		
Categories ID	Category name for requirements	Category description
Cat2	Registro e Auditoria	Requisitos relacionados ao registro automatizado de eventos e de procedimentos executados, para posterior análise pelo operador
Requirement R-ID	Requirement name	Requirement description
Req2	Registro da recomposição	SMAD deve manter o registro das recomposições, assim como o histórico dos procedimentos realizados para alcançá-las, critérios de seleção de propostas, falhas de processo e resultados.