

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ELÉTRICA

**ABORDAGEM ONTOLÓGICA PARA MODELAGEM DO
TREINAMENTO DE OPERADORES DE SISTEMAS
ELÉTRICOS**

Tese submetida à Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciências no domínio da Engenharia Elétrica .

Área de concentração: Engenharia da Computação

Flávio Torres Filho

Prof^a. Maria de Fátima Queiroz Vieira

Orientadora

Campina Grande

Março de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

T693a Torres Filho, Flávio.
Abordagem ontológica para modelagem do treinamento de operadores de sistemas elétricos / Flávio Torres Filho. – Campina Grande, 2015.
115 f. : color.

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2015.

"Orientação: Profª. Maria de Fátima Queiroz Vieira".
Referências.


1. Elaboração de Cenários de Treinamento. 2. Ontologias. 3. Simuladores para o Treinamento de Operadores. 4. Sistemas Elétricos. I. Vieira, Maria de Fátima Queiroz. II. Título.

CDU 681.5.017(043)

**"ABORDAGEM ONTOLÓGICA PARA MODELAGEM DE TREINAMENTO DE
OPERADORES DE SISTEMAS ELÉTRICOS"**


FLÁVIO TORRES FILHO

TESE APROVADA EM 26/03/2015


MARIA DE FÁTIMA QUEIROZ VIEIRA, Ph.D., UFCG
Orientador(a)


ADRIAIO DUARTE DORIA NETO, Dr., UFRN
Examinador(a)


ANGELO PERKUSICH, D.Sc., UFCG
Examinador(a)


EVANDRO DE BARROS COSTA, D.Sc., UFAL
Examinador(a)


HYGGO OLIVEIRA DE ALMEIDA, D.Sc., UFCG
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB

Resumo

O treinamento de operadores de sistemas industriais em ambientes simulados favorece a assimilação dos procedimentos técnicos através da vivência de situações semelhantes às situações reais experimentadas no ambiente de trabalho. A experiência e o aprendizado adquiridos em simuladores estão diretamente relacionados à qualidade e ao realismo dos cenários de treinamento propostos. Em contrapartida, o processo de construção de cenários de treinamento é uma atividade complexa, que envolve um grande volume e variedade de informações e, que demanda da equipe responsável conhecimentos multidisciplinares (design do ambiente virtual, educação, domínio específico, etc.) . Nesta pesquisa propõe-se uma abordagem sistemática para a construção de cenários de treinamento de operadores de sistemas elétricos em ambientes de simulação. Esta abordagem se apoia dentre outras fontes: na instanciação de ontologias de domínio; nas normas IEC 61970-301 e ISO 10015; no contexto do treinamento em sistemas elétricos; na observação de treinamentos realizados na empresa CHESF e em documentos relacionados, gentilmente cedidos por esta empresa do setor elétrico. Com base nos termos, relacionamentos e restrições definidos, foram descritos os elementos constituintes de um cenário de treinamento, possibilitando o seu reuso em diferentes cenários, a partir de sua combinação e configuração, de acordo com informações armazenadas em uma base de conhecimento. Os objetivos deste trabalho foram: propor uma abordagem sistemática dos cenários visando facilitar a construção dos cenários a partir da formalização do conhecimento em ontologias do domínio; disponibilizar uma estrutura de dados reutilizável capaz de auxiliar tutores no processo de autoria do ambiente virtual; facilitar a compreensão dos requisitos de treinamento; favorecer a reusabilidade e a escalabilidade dos objetos representados nos cenários tais como: os componentes de animação e os modelos de simulação. As ontologias e o processo de desenvolvimento de cenários de treinamento foram validados a partir da descrição de cenários reais para o treinamento no simulador 2D utilizado na empresa CHESF- Simulop e na construção de cenários para o Simulador 3D- SimuLIHM, desenvolvido no LIHM da UFCG.

Palavras chave: Elaboração de Cenários de Treinamento; Ontologias; Simuladores para o treinamento de operadores; Sistemas elétricos.

Abstract

The industrial training of system operators in simulated environments favours the assimilation of technical procedures by reproducing similar to real situations experienced in the workplace. The experience and learning acquired in simulators is directly related to the quality and realism of the proposed training scenarios. However, the process of building training scenarios is a complex one, involving a large volume and variety of information. It also demands from the development team a multidisciplinary knowledge of the virtual environment design, education, specific field, etc.). In this research it is proposed a systematic approach for building training scenarios in simulation environments, for electric system operators. This approach was based, amidst other sources, on: the instantiation of domain ontologies; IEC 61970-301 and the ISO 10015 standards; in the context of training in electrical systems; training observations conducted at the Brazilian electricity company- CHESF and related documents kindly made available by this company. The components of a training scenario were described on the basis of the terms; relationships and constraints defined, thus enabling their reuse in a variety of other scenarios, through their configuration and combination, in accordance with the information stored in a knowledge base. The objectives of this study were: to propose a scenario authoring process to facilitate the building of scenarios supported by the formalization of knowledge in domain ontologies; to provide a reusable data structure capable of assisting tutors in the virtual environment authoring process; to facilitate the understanding of training requirements; to promote reusability and scalability of the objects represented in scenarios such as: animation components and simulation models. Both the ontologies and the training scenarios development process were validated through the authoring of real scenarios for training in 2D simulator in CHESF- Simulop and, authoring scenarios for the 3D-SimuLIHM Simulator, developed in LIHM UFCG.

Keywords: Authoring Operator Training Scenario; Ontologies; Operator Training Simulators; Electric Power Systems.

LISTA DE ABREVIATURAS

3D: Três dimensões ou tridimensional

API: *Application Programming Interface*

AV: Ambiente Virtual

BD: Banco de Dados

CEPEL: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CHESF: COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO

GIHM: Grupo de Interface Homem Máquina

IP: *Internet Protocol*

ISO: *International Organization for Standardization*

JDBC: *Java DataBase Connectivity*

LIHM: Laboratório de Interface Homem-Máquina

RV: Realidade Virtual

SAGE: Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia

SAI: *Scene Access Interface*

SCADA: *Supervisory Control And Data Aquisition*

SGBD: Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SML: *Standard ML*

STPO: Simulador para Treinamento de Proteção e Operação

TCP: *Transmission Control Protocol*

UML: *Unified Modeling Language*

VRML: *Virtual Reality Modeling Language*

X3D: *eXtensible 3D*

XML: *eXtensible Markup Language*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas da metodologia on-to-Knowledge (OTK), (Fonte: SURE; STAAB; STUDER, 2009)	24
Figura 2: Estágios e Atividades propostos por Fernandez et al. (1997)	27
Figura 3: <i>Sub-linguagens OWL</i>	29
Figura 4: Interface gráfica do Protegé.....	31
Figura 5: Metodologia para treinamento de operadores adotada pela CTEEP (Fonte: ABREU et. al., 2012)	35
Figura 6: Simuladores baseados em realidade virtual e voltados ao treinamento de operadores industriais	38
Figura 7: Fatores que influenciam a elaboração de cenários de treinamento.....	40
Figura 8: Uma simulação gerada pela plataforma Simantic e seu modelo de dados (Fonte: Luukkainen; Karhela, 2008).....	43
Figura 9: Arquitetura do SimuLIHM	47
Figura 10: Camada de modelos que constituem um objeto de interação no SimuLIHM.....	49
Figura 11: Módulo de edição de cenários para o sistema SAGE/Simulop.....	52
Figura 12: Arquitetura geral do SIMULOP (LEITE; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2007)	53
Figura 13: Estrutura de cenários de treinamento no Simulop	54
Figura 14: Integração de ontologias para descrição semântica do treinamento simulado	56
Figura 15. Nível mais alto da hierarquia de classes da ontologia <i>Treinamento</i>	57
Figura 16: Hierarquia de classes de Recursos do treinamento	60
Figura 17: Descrição do conceito Treinamento no editor Protegé	61
Figura 18: Visão Geral da ontologia Treinamento, representando seus principais conceitos e relações	62
Figura 19: Visão Geral da ontologia <i>Cenario</i> , representando seus principais conceitos e relações.....	62
Figura 20: Lista de actemas que representam ações realizadas durante a operação de sistemas elétricos	65
Figura 22: Visão geral da ontologia <i>Cenário_De_Erro</i> , representando seus principais conceitos e relações	72
Figura 23: Diagrama de pacotes do padrão CIM (Fonte IEC 61970-301).	75
Figura 24: Hierarquia de classes de equipamentos (Fonte: IEC 61970-301, p. 30)	77
Figura 25: Diagrama de classes representando as relações entre <i>Terminal</i> , <i>ConnectivityNode</i> e <i>ConductionEquipament</i> (Fonte: adaptado de McMorran, 2007).....	79
Figura 26: Exemplo de circuito com terminais e nós de condutividade (Fonte: McMorran, 2007).	80
Figura 27: Nível mais alto da hierarquia de classes da ontologia.....	82
Figura 28: Taxonomia de dispositivos de interação	83

Figura 29: taxonomia de Chaves	84
Figura 30: Representação de propriedades da classe <i>Chave101</i>	85
Figura 31: Tipos de propriedades OWL	86
Figura 32: (a) Ilustração do painel 04V2 na subestação. (b) Representação do virtual do painel PN04V2.....	89
Figura 33: Modelo ontológico de um painel de controle.....	90
Figura 34. Hierarquia de classes da ontologia de modelos 3D para cenários virtuais de treinamento com operadores de subestações elétricas	91
Figura 35. Mapeamento de atributos de um objeto com representação virtual 3D para o código em X3D	92
Figura 36: Representação da abordagem ontológica para o desenvolvimento de cenários de treinamento para simuladores	95
Figura 37: Representação de propriedades da chave CH_12J5	96
Figura 38: Instanciação de um objeto 3D usando a base de conhecimento	98
Figura 39: Exemplos de objetos da biblioteca de modelos 3D.....	99
Figura 40: Grafo do modelo CPN da chave tipo Giro-Pressão-Giro.....	100
Figura 41: Processo de construção de cenários de treinamento para o SimuLIHM.....	100
Figura 42: Processo de construção de cenários de treinamento para o Simulop	102
Figura 43: Ambiente virtual representando a sala de controle de uma subestação elétrica.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de ontologias (Fonte: ALMEIDA; BAX, 2003).....	22
Tabela 2: Etapas para concepção de ontologias de domínio propostas na metodologia 101	25
Tabela 3: Metodologias para a concepção de ontologias	27
Tabela 4: Linguagens para concepção de ontologias	28
Tabela 5: Requisitos fundamentais para simulador voltados ao treinamento de operadores industriais.....	37
Tabela 6: Dados relacionados a Configuração da instalação	63
Tabela 7: Dados relacionados a tarefa de um cenário	64
Tabela 8: Estrutura genérica de um cenário de treinamento	66
Tabela 9: Tipos de eventos programados	67
Tabela 10: Dados relacionados aos eventos programados	69
Tabela 11: Dados relacionados ao ambiente do cenário de treinamento	70
Tabela 12: Categorias e subcategories do modelo de Rasmussen.....	73

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1.	CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	11
1.2.	QUESTÕES DE PESQUISA	14
1.3.	OBJETIVOS	16
1.4.	ASPECTOS METODOLÓGICOS	17
1.5.	ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	18

CAPÍTULO 2 – Fundamentação Teórica

2.1	ONTOLOGIA	20
2.1.1	METODOLOGIAS	23
2.1.2	LINGUAGENS.....	28
2.1.3	FERRAMENTAS.....	30
2.1.4	CONTRIBUIÇÕES DE ONTOLOGIAS PARA ENGENHARIA DE SOFTWARE	31
2.2	TREINAMENTO DE OPERADORES DE SISTEMAS INDUSTRIAIS.....	33
2.2.1	SIMULADORES DE APOIO AO TREINAMENTO.....	36
2.2.2	CENÁRIOS DE TREINAMENTO	39
2.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	41

CAPÍTULO 3 – Trabalhos Relacionados

3.1.	PROJETOS DE SIMULADORES ORIENTADOS POR ONTOLOGIA	42
3.2.	TRABALHOS DE PESQUISADORES DO LIHM.....	46
3.2.1.	SIMULIHM.....	46
3.2.2.	MODELO CONCEITUAL DE CENÁRIOS DE ACIDENTES EM AMBIENTES INDUSTRIAIS CRÍTICOS.....	50
3.2.3.	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE OPERADORES EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO	50
3.2.4.	GERADOR DE CENÁRIOS DE TREINAMENTO PARA O AMBIENTE SAGE/SIMULOP	51

CAPÍTULO 4 – Ontologias para descrição de treinamentos, cenários de treinamento e cenários de erro

4.1.	ONTOLOGIAS <i>TREINAMENTO E RECURSOS DO TREINAMENTO</i>	56
4.2.	ONTOLOGIA CENÁRIO	62
4.2.1	ONTOLOGIA CENÁRIO DE TREINAMENTO	66
4.2.2	ONTOLOGIA CENÁRIO DE ERRO	71
4.3.	ONTOLOGIA PLANTA (CIM).....	74
4.4.	ONTOLOGIA DA IHM DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS.....	80
4.5.	ONTOLOGIA MODELO 3D DO CENÁRIO DE TREINAMENTO	90
4.6.	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	93

CAPÍTULO 5 – Composição automática de cenários de treinamento em simuladores

5.1.	PROCESSO DE COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DE TREINAMENTO BASEADO EM ONTOLOGIAS.....	94
5.1.1.	ETAPA 1: DESCREVER O CENÁRIO DE TREINAMENTO	95

5.1.2.	ETAPA 2: GERAR O CENÁRIO DE TREINAMENTO	97
5.1.3.	ETAPA 3: EXECUÇÃO DO CENÁRIO DE TREINAMENTO	102
5.2.	ESTUDO DE CASO.....	103
5.3.	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	104
CAPÍTULO 6 – Conclusões e trabalhos futuros		
6.1.	CONTRIBUIÇÕES	106
6.2.	TRABALHOS FUTUROS	108
6.3.	PUBLICAÇÕES.....	109

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é apresentado o contexto no qual esta pesquisa foi desenvolvida e a motivação para fazê-la. Além disso, discorre-se sobre as questões de pesquisa, os objetivos e aspectos metodológicos do trabalho. Finalmente, apresenta-se a estrutura na qual o restante deste documento está organizado.

1.1. CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

Este trabalho foi realizado no contexto do desenvolvimento de métodos e ferramentas que apoiam o treinamento de operadores de sistemas industriais. Em especial, operadores de subestações de sistemas elétricos, os quais precisam estar preparados para lidar com um grande volume de informações durante sua rotina de trabalho, lidando com situações críticas, em prazos restritos. Por outro lado, sob pressões de tempo e sobrecarga cognitiva, o operador comete erros os quais podem resultar em consequências graves para a planta e para aqueles que ali trabalham, corroborando com a necessidade de treinamento contínuo.

O treinamento em uma subestação pode ser motivado pela necessidade de formar um operador iniciante, certificar ou atualizar operadores experientes, adaptando-os a mudanças na planta ou nos procedimentos operacionais.

Diferentes métodos de ensino e aprendizagem são usados na formação, reciclagem e certificação de operadores de subestações elétricas. Estes incluem: aulas teóricas, aprendizagem de procedimentos operacionais através do acompanhamento de operadores mais experientes, visitas técnicas a instalações, leitura de material técnico sobre novos equipamentos e discussão periódica de ocorrências. É comum também o uso de software de simulação para reproduzir situações reais de operação, permitindo que operadores, em

treinamento, possam exercitar a execução de procedimentos operacionais como se estivessem interagindo com o sistema real.

A experiência e o aprendizado adquiridos por operadores industriais em software de simulação estão diretamente relacionados aos cenários de treinamento que são projetados. Esses cenários podem reproduzir situações de rotina, com o sistema operando em condições normais, e situações de exceção ou críticas, a exemplo de ocorrências que demandam a recomposição do sistema. Dessa forma, os simuladores são úteis tanto na qualificação de operadores iniciantes, como na reciclagem de operadores experientes.

Por outro lado, a fim de garantir uma formação profissional abrangente, existe a necessidade de criar uma diversidade de cenários de treinamento com características específicas, que permitam atender às demandas particulares de cada instalação e dos operadores enquanto indivíduos.

Um cenário de treinamento consiste da descrição do estado inicial do ambiente simulado, da especificação da evolução das ações do treinamento (descrição da sequência de eventos que devem ocorrer no durante o treinamento) e, da descrição dos recursos que serão utilizados na evolução do cenário (SILVA NETTO, 2014).

Por outro lado, a modelagem de um cenário de treinamento, para determinado domínio do conhecimento, é uma tarefa bastante especializada. Isso porque cada domínio possui características particulares. Do mesmo modo, dentro de um domínio, cada cenário de treinamento pode representar objetos, atores e eventos diferentes.

Assim, o processo de construção de cenários de treinamento para ambientes de simulação é uma atividade complexa que envolve o trabalho de uma equipe multidisciplinar, envolvendo projetistas (designers) de telas, programadores (simulador), engenheiros (responsáveis pela planta), educadores (capazes de propor situações de aprendizado adequadas) e especialistas no domínio. Parte dessa complexidade resulta da necessidade da equipe de desenvolvimento transmitir e compartilhar informações, uma vez que especialistas no domínio de aplicação usualmente não estão familiarizados com a construção

de modelos e, por outro lado, os projetistas e programadores, frequentemente não são especialistas no domínio, precisando compreender os cenários que serão representados e identificar objetos e atores envolvidos com seus respectivos comportamentos. Portanto, a complexidade resulta da necessidade de dominar o conhecimento sobre aspectos específicos da planta a ser representada, os quais podem ter um caráter transitório devido a manutenções e sobretudo devido ao volume e diversidade das informações que devem ser trabalhadas durante a concepção e configuração do cenário (estados da planta) no simulador.

Nesse trabalho, propõe-se um processo para o desenvolvimento de cenários de treinamento baseados em simuladores. Esse processo se baseia na descrição dos cenários a serem representados, com base em ontologias no domínio da aplicação, as quais descrevem os termos, relacionamentos e restrições envolvidos no processo. Assim, pretende-se reduzir a complexidade global do processo de autoria do ambiente de simulação, assegurando a compreensão dos requisitos de treinamento, assim como a reusabilidade e a expansibilidade de componentes de software.

A motivação principal deste trabalho é superar as dificuldades citadas na concepção de cenários para o treinamento de operadores de subestações elétricas, propondo uma abordagem para a concepção e construção destes cenários com base em ontologias. Para tanto é necessário: o compartilhamento e formalização do conhecimento; a garantia de uma estrutura de dados reutilizável; a redução do esforço de criação/edição de cenários de treinamento; a identificação das partes envolvidas e das ações a serem realizadas em uma sessão de treinamento simulado, através de uma taxonomia; a gestão de forma eficiente dos objetos virtuais, componentes de animação e modelos de simulação; e a identificação e gestão das necessidades particulares de aprendizagem de diferentes grupos de usuários em função da etapa de aprendizagem em que se encontrem.

1.2. QUESTÕES DE PESQUISA

Neste trabalho foram propostas as seguintes questões de pesquisa:

1. Como auxiliar a criação e edição de cenários para o treinamento em ambientes de simulação?

Para apoiar um programa de treinamento e de reciclagem de operadores de sistemas elétricos apoiado por simuladores, é necessário elaborar uma diversidade de cenários de treinamento. Enquanto operadores iniciantes devem ser treinados em situações que demandam a execução de tarefas simples e frequentes, os operadores mais experientes devem ser treinando em situações mais complexas e raras. Assim, a formação e aprendizagem contínua do profissional tornam-se mais abrangentes.

Além disso, o sistema elétrico de potência está sujeito a mudanças contínuas, seja através da expansão do sistema ou da substituição de equipamentos. Dessa forma, surgem novas necessidades de treinamento.

Por outro lado, a concepção de cada cenário de treinamento demanda o esforço de profissionais com formações diferentes e do compartilhamento de informações. Por exemplo, é necessário identificar todos os equipamentos e respectivos dispositivos de interação a serem representados em um cenário de treinamento, além de seus respectivos estados e comportamentos (animações). Também é necessário programar os eventos que serão disparados durante a simulação (por exemplo, a atuação de uma proteção ou o disparo de um alarme) e prescrever as tarefas que devem ser executadas por cada participante do treinamento.

Portanto, o esforço de construção de um cenário aumenta de forma proporcional ao número de objetos, eventos, tarefas e participantes representados no cenário de treinamento. E cada profissional envolvido neste processo de desenvolvimento deve conhecer o que precisa ser feito no seu domínio.

2. Como auxiliar especialistas no domínio do treinamento, que não tenham formação em computação, a gerenciar e reutilizar componentes de software na composição de diferentes cenários de treinamento em simuladores?

Diferentes cenários de treinamento podem ser construídos a partir de um repositório contendo componentes de software, utilizados na modelagem da representação geométrica (2D ou 3D) de objetos e, na modelagem dos respectivos comportamentos.

Assim, modelos de componentes já desenvolvidos, testados e validados poderiam ser configurados e integrados para representarem diferentes cenários de treinamento. Por outro lado, é necessário sistematizar este processo de desenvolvimento, definindo uma estrutura de dados para cada componente e as relações entre eles. Por exemplo, um tipo específico de dispositivo de interação como a chave “giro-pressão-giro” pode: comutar o estado de um disjuntor ou de uma chave seccionadora; se encontrar na posição Aberta ou Fechada; e pode no simulador assumir uma das cores: verde, vermelha ou amarela, dependendo do estado do dispositivo comandado e da convenção adotada no simulador.

3. Como integrar o conhecimento oriundo de diferentes fontes (ferramentas, documentos e especialistas) e, torná-lo computável para gerar cenários de treinamento em simuladores?

A equipe responsável pela concepção dos cenários de treinamento necessita se apoiar em diferentes fontes de informação, a exemplo de roteiros de manobra, que definem a sequência de ações que deveriam ser executadas durante uma tarefa conhecida. Estes roteiros passam a fazer parte de descritores de cenários ao especificar a tarefa prescrita do treinamento. O prescritor também pode ser utilizado para avaliar o treinando a partir da comparação com o prescritor (arquivo de *log* do treinamento) da sessão de simulação (SILVA NETTO, 2014).

Os relatórios de erro humano são outra fonte de informação que pode apoiar a concepção dos cenários de treinamento. O objetivo é treinar os operadores em situações nas quais ocorreram erros de modo a evitar que o erro se repita. Assim, o cenário de treinamento

poderia ser criado a partir da descrição constante no relatório de erro, reutilizando a configuração do sistema e ações dos atores envolvidos.

1.3. OBJETIVOS

Neste trabalho, o principal objetivo consiste em propor uma abordagem sistemática para a modelagem de cenários para o treinamento de operadores de subestações de sistemas elétricos em simuladores, apoiada por ontologias e as ferramentas associadas que visam facilitar a elaboração desses cenários por profissionais tutores. A este objetivo estão associados os objetivos específicos listados a seguir:

- Descrever cenários para o treinamento de operadores de sistemas elétricos a partir de: um conjunto de termos, relacionamentos e restrições, estruturados em ontologias de domínio;
 - Construir e reutilizar ontologias de domínio que permitam descrever os cenários de treinamento planejados;
 - Validar as ontologias propostas através da descrição de cenários de treinamento reais.
- Automatizar a construção dos cenários de treinamento gerando artefatos que possam ser executados em ambientes de simulação.
 - Configurar automaticamente o ambiente de simulação, representando o cenário de treinamento descrito;
 - Validar o processo de desenvolvimento de cenários através da geração dos artefatos necessários para execução do cenário em simuladores.

1.4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho, propõe-se uma abordagem para concepção de cenários de treinamento de operadores de sistemas elétricos, apoiada pela construção e instanciação de ontologias de domínio.

Dado que os mesmos elementos podem ser encontrados em diferentes cenários de treinamento em uma mesma instalação e em instalações diferentes, a pesquisa foi iniciada com a busca por soluções computacionais que facilitassem o processo de autoria do ambiente de simulação a partir do reuso de componentes de software tais como os objetos de interação encontrados em painéis de comandos e telas de supervisores. Exemplos destes objetos são: sinalizadores; alarmes e anunciadores de eventos; além dos papéis desempenhados pelos atores (além do treinando) envolvidos no cenário. Com este propósito foi pesquisada a aplicação de ontologias na modelagem dos cenários de treinamento.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema construção de cenários, a partir de trabalhos relacionados que abordassem metodologias, linguagens e ferramentas de desenvolvimento. A partir da pesquisa realizada constatou-se que o desenvolvimento de ontologias no domínio do treinamento em sistemas elétricos serviria não apenas como guia na modelagem dos cenários de treinamento, mas também para a especificação, validação, reuso e manutenção de componentes de software que constituem um cenário de treinamento, independentemente de o cenário ser representado em uma interface (2D ou 3D), dos padrões de animação e dos modelos de simulação.

Assim, foram especificadas as ontologias de domínio apresentadas neste trabalho, as quais foram integradas à abordagem proposta para a construção de cenários de treinamento possibilitando o reuso pretendido de componentes de software.

As ontologias foram construídas com base em: trabalhos já desenvolvidos no âmbito do laboratório LIHM; na observação de treinamentos realizados na empresa CHESF; em documentos utilizados por instrutores desta mesma empresa e nas normas IEC 61970-

301 e ISO 10015; onde são descritos os componentes de um sistema elétrico de potência e os relacionamentos entre cada componente.

As ontologias e o processo de desenvolvimento de cenários de treinamento foram validados a partir da descrição de cenários de treinamento reais fornecidos pela empresa CHESF e executados em simuladores, como será abordado mais adiante neste texto.

1.5. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Além deste capítulo introdutório, este documento é constituído por cinco capítulos:

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: apresenta os fundamentos desta pesquisa, relacionados ao conceito de ontologia, ao processo de desenvolvimento apoiado por ontologias (metodologias, linguagens e ferramentas), e à área de treinamento de operadores em ambientes industriais (métodos, simuladores e cenários de treinamento);

Capítulo 3 – Trabalhos Relacionados: neste capítulo são apresentados e discutidos os trabalhos relacionados a essa pesquisa. Alguns desses trabalhos foram desenvolvidos no âmbito da pesquisa realizada no LIHM – Laboratório de Interfaces Homem-Máquina, no que concerne o erro humano no ambiente industrial e o treinamento de operadores de sistemas elétricos;

Capítulo 4 – Ontologias para descrição de treinamentos, cenários de treinamento e cenários de erro: aqui são apresentadas as ontologias que foram desenvolvidas para apoiar a descrição de cenários de treinamento de operadores de sistemas elétricos utilizando ambientes simulados, considerando cenários de erro neste ambiente de trabalho;

Capítulo 5 – Composição automática de cenários de treinamento em simuladores: apresenta-se um processo de desenvolvimento de cenários de treinamento para simuladores, independentemente da interação ser realizada em ambiente 2D ou 3D

(realidade virtual). Esse processo se baseia na descrição formal dos cenários a serem executados no simulador, com base na descrição em ontologias no domínio, dos termos, relacionamentos e restrições;

Capítulo 6 – Conclusões e trabalhos futuros: neste capítulo são discutidos os objetivos alcançados face aos objetivos pretendidos, o alcance destes objetivos e apresentadas sugestões de continuidade em uma lista de trabalhos futuros.

Capítulo 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo, são abordados os fundamentos que apoiaram o desenvolvimento desta pesquisa, relacionados ao conceito de ontologia, ao processo de construção de ontologias (metodologias, linguagens e ferramentas), e à área de treinamento de operadores em ambientes industriais, abordando métodos, simuladores e cenários de treinamento.

2.1 ONTOLOGIA

Historicamente, o termo “Ontologia” tem origem no grego *ontos*, que significa “ser”, e *logos*, que significa “palavra”. Utilizado inicialmente no campo da Filosofia, o termo ontologia diz respeito à área do conhecimento que trata da natureza e da organização do ser.

Na Ciência da Informação, dentre as definições de ontologia mais citadas na literatura, destaca-se a apresentada por Gruber (1993, p. 199). Segundo esse autor, uma ontologia pode ser definida como “uma especificação explícita e formal de uma conceitualização compartilhada”.

O termo *conceitualização* refere-se a um conjunto de definições de conceitos e de relacionamentos existentes entre estes conceitos. Uma conceitualização é uma visão abstrata do domínio que se deseja representar.

Uma “*especificação explícita*” quer dizer que as limitações de uso de conceitos e relacionamentos estão explicitamente definidas. Estando também formalizada, a ontologia é passível de ser processada por máquinas (ALMEIDA; BAX, 2003).

Além disso, por ser “*compartilhada*”, uma ontologia reflete um conhecimento consensual, aceito por um grupo de pessoas.

Outra definição para ontologia, apresentada por Swartout *et al.* (1997), revela mais detalhes da estrutura de uma ontologia:

“Uma ontologia define um conjunto de termos ordenados hierarquicamente para descrever um domínio e pode ser usada como o esqueleto de uma base de conhecimentos.”

Sendo assim, uma ontologia é composta de um conjunto de conceitos organizados como uma taxonomia e usados para descrever uma determinada realidade.

Os componentes básicos de uma ontologia são classes (dispostas de forma hierárquica), relações (que representam as formas de interação entre conceitos do domínio ontológico), axiomas (regras que regulam as associações entre as classes e relações) e instâncias (elementos específicos do domínio).

Ontologias são classificadas de formas diferentes por vários autores, por exemplo, quanto à sua função (VANWELKENHUYSEN; IKEDA, 1995), ao seu grau de formalismo (USCHOLD; GRUNINGER, 1996), à sua aplicação (JASPER; USCHOLD, 1999), à sua estrutura (HAAV; LUBI, 2001), ou ao seu conteúdo (SCHREIBER; TERPSTRA, 2002). Essas categorias foram reunidas e definidas por Almeida e Bax (2003), conforme é apresentado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Tipos de ontologias (Fonte: ALMEIDA; BAX, 2003)

Abordagem	Classificação	Descrição
Quanto à função (VAN WELKENHUYSEN; IKEDA, 1995)	Ontologias de domínio	Reutilizáveis no domínio, fornecem vocabulário sobre conceitos, seus relacionamentos, sobre atividades e regras que os governam.
	Ontologias de tarefa	Fornecem um vocabulário sintetizado de termos, especificando tarefas que podem ou não estar no mesmo domínio.
	Ontologias gerais	Incluem um vocabulário relacionado a coisas, eventos, tempo, espaço, casualidade, comportamento, funções, etc.
Quanto ao grau de formalismo (USCHOLD; GRUNINGER, 1996)	Ontologias altamente informais	Expressa livremente em linguagem natural.
	Ontologias semi-informais	Expressa em linguagem natural de forma restrita e estruturada.
	Ontologias semiformais	Expressa em uma linguagem artificial definida formalmente.
	Ontologias rigorosamente formais	Os termos são definidos com semântica formal, teoremas e provas.
Quanto à aplicação (JASPER; USCHOLD, 1999)	Ontologias como especificação	Cria-se uma ontologia para um domínio, a qual é usada para documentação e manutenção no desenvolvimento de softwares.
	Ontologias de acesso comum à informação	Quando o vocabulário é inacessível, a ontologia torna a informação inteligível, proporcionando conhecimento compartilhado dos termos.
	Ontologias de autoria neutra	Um aplicativo é escrito em uma língua e depois convertido para uso em diversos sistemas, reutilizando-se informações.
Quanto à estrutura (HAAV; LUBI, 2001)	Ontologias de alto nível	Descrevem conceitos gerais relacionados a todos os elementos da ontologia (espaço, tempo, matéria, objeto, evento, ação, etc.) os quais são independentes do problema ou domínio.
	Ontologias de domínio	Descrevem o vocabulário relacionado a um domínio, por exemplo, medicina ou automóveis.
	Ontologias de tarefa	Descrevem uma tarefa ou atividade, como, por exemplo, diagnósticos ou compras, mediante inserção de termos especializados na ontologia.
Quanto ao conteúdo (SCHREIBER; TERPSTRA, 1996)	Ontologias terminológicas	Especificam termos que serão usados para representar o conhecimento em um domínio (por exemplo, os léxicos).
	Ontologias de informação	Especificam a estrutura de registros de bancos de dados (por exemplo, os esquemas de bancos de dados).
	Ontologias de modelagem do conhecimento	Especificam conceitualizações do conhecimento, têm uma estrutura interna semanticamente rica e são refinadas para uso no domínio do conhecimento que descrevem.
	Ontologias de aplicação	Contêm as definições necessárias para modelar o conhecimento em uma aplicação.
	Ontologias de domínio	Expressam conceitualizações que são específicas para um determinado domínio do conhecimento.
	Ontologias genéricas	Similares às ontologias de domínio, mas os conceitos que as definem são considerados genéricos e comuns a vários campos.
	Ontologias de representação	Explicam as conceitualizações que estão por trás dos formalismos de representação do conhecimento.

Mesmo sem um consenso sobre sua classificação, identificar tipos e características facilita o reuso ontologias, as quais podem ser adaptadas ou estendidas para atenderem a propósitos específicos. Alguns repositórios de ontologias estão disponíveis na web, por exemplo:

- DAML ontology library (www.daml.org/ontologies/);
- Ontolingua ontology library (www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/);
- Protégé ontology library
(protegewiki.stanford.edu/wiki/Protege_Ontology_Library).

As ontologias encontradas nesses repositórios foram desenvolvidas através de metodologias e ferramentas distintas, bem como estão representadas em diferentes linguagens. Nas subseções seguintes, é apresentado um estudo sobre metodologias, ferramentas e linguagens que apoiam a concepção de ontologias.

2.1.1.1 METODOLOGIAS

O desenvolvimento e a manipulação de ontologias têm sido sistematizados por metodologias. No entanto, nenhuma metodologia é amplamente utilizada, ou seja, consensual entre os desenvolvedores, que em sua maioria apoiam-se na própria experiência e utilizam-se de uma abordagem particular. Dentre as metodologias propostas na literatura estão On-To-Knowledge (SURE; STAAB; STUDER, 2009), método 101 (NOY; MCGUINNESS, 2001) e a Methontology (FERNÁNDEZ et al., 1997). A seguir, essas metodologias são brevemente descritas.

2.1.1.1.1 On-To-Knowledge

Essa metodologia baseia-se em um ciclo de vida evolucionário e iterativo, representado na Figura 1. O processo desta metodologia é constituído por cinco etapas: estudo de viabilidade; início da ontologia; refinamento; avaliação; e manutenção.

As saídas mais importantes de cada etapa também estão representadas na Figura 1 e constituem entradas para etapa seguinte. Refinamento, avaliação e manutenção precisam ser realizados em ciclos iterativos (YORK; STEFFEN; STUDER, 2009).

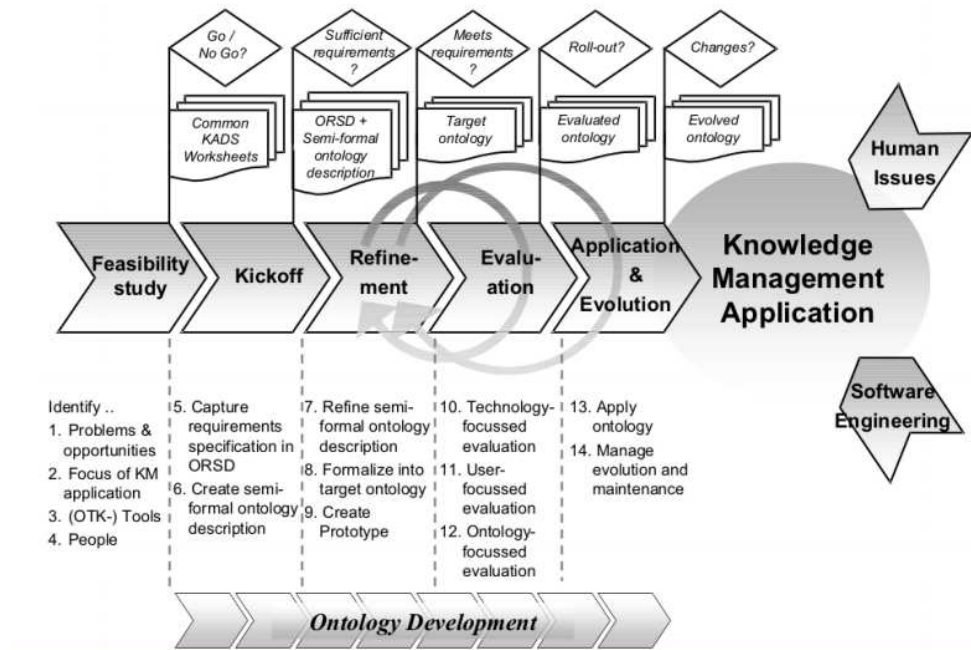


Figura 1: Etapas da metodologia on-to-Knowledge (OTK), (Fonte: SURE; STAAB; STUDER, 2009)

2.1.1.2 Ontology Development 101

A metodologia 101, proposta por Noy e McGuinness (2001), é constituída por sete etapas iterativas que auxiliam os desenvolvedores na concepção de ontologias de domínio. Estas etapas estão listadas e descritas de forma sucinta na Tabela 1, adaptada de (DINIZ, 2010).

Tabela 2: Etapas para concepção de ontologias de domínio propostas na metodologia 101

Etapas	ENTRADA	DESCRIÇÃO	SAÍDA
Etapa 1 – Determinar o domínio e o escopo da ontologia	–	Definição de: – Qual domínio que a ontologia irá cobrir; – Como a ontologia será utilizada; – A quais questões a ontologia deve fornecer respostas; – Quem utilizará e fará manutenção na ontologia.	Documento que delimita o alcance da ontologia e norteia o processo de desenvolvimento. Pode mudar durante o processo, à medida que ajustes sejam necessários.
Etapa 2 – Considerar o reuso de ontologias existentes	Documentos com o domínio e o escopo da ontologia.	Procurar outras ontologias que estão definindo o domínio de interesse. Consultar, por exemplo, repositórios de ontologias na web.	Uma ou mais ontologias de domínio, ou parte delas, com a respectiva definição.
Etapa 3 – Listar termos importantes para a ontologia	Documentos com o domínio e o escopo da ontologia e outras ontologias existentes.	Escrever uma lista de todos os termos utilizados na ontologia, descrevendo seus significados e suas propriedades.	Termos e aspectos importantes para modelar a ontologia.
Etapa 4 – Definir as classes e a hierarquia das classes.	Termos importantes na ontologia, domínio, e descrição do escopo.	Desenvolvimento da hierarquia de classes: – processo <i>top-down</i> , que inicia com a definição dos conceitos mais gerais e a subsequente especialização dos conceitos; – processo <i>bottom-up</i> , que vai na direção oposta; – processo de desenvolvimento que combina essas duas abordagens.	Classes e hierarquia de classes
Etapa 5 – Definir as propriedades de classes - fresta (slot)	A taxonomia, o domínio e a descrição de escopo.	Acrescenta todas as propriedades necessárias e informações que permitam à ontologia responder as questões de competência.	Classes, hierarquia de classes, e propriedades.
Etapa 6 – Definir as facetas das frestas (slots).	Classes, hierarquia de classes, e propriedades.	Existem diferentes facetas descrevendo o tipo de valores, valores admissíveis, o número de valores, e outras características que as frestas podem assumir: cardinalidade da fresta, tipo de valor da fresta, domínio, e faixa.	Ontologia
Etapa 7 – Criar as instâncias.	A ontologia	Criar as instâncias de classes na hierarquia, o que significa escolher uma classe, criar um indivíduo da instância da classe, e preencher os valores das frestas.	Ontologia e o domínio modelado

Fonte: Adaptado de (DINIZ, 2010).

2.1.1.3 Methontology

A metodologia Methontology, proposta por Fernandez et. al. (1997), também descreve um processo de desenvolvimento de ontologias que propõe um ciclo de vida baseado na evolução de protótipos.

A sequência de atividades que compõem esse ciclo de vida é representada na Figura 2, e as atividades são descritas abaixo:

- Planejamento – Identifica-se as principais aplicações da ontologia que será desenvolvida e os recursos que serão necessários;
- Especificação – Determina-se o escopo da ontologia que está sendo construída e quem serão os usuários;
- Aquisição do conhecimento – Adquire o conhecimento sobre o domínio da ontologia. Essa atividade é apoiada por entrevistas com especialistas no domínio da ontologia a ser criada, análise de livros sobre o domínio, etc;
- Conceituação – O conhecimento do domínio é representado através de um modelo conceitual que descreve o problema e sua solução em termos de um vocabulário identificado na etapa anterior;
- Formalização – Mapeamento do modelo conceitual para um modelo formal ou semiformal;
- Integração – Considera-se o reuso de ontologias existentes e procura-se fundir à nova ontologia;
- Implementação – Concepção da ontologia em uma linguagem formal, de modo que ela seja computável;
- Avaliação – Avalia-se a ontologia;
- Documentação – A ontologia é documentada com o objetivo de facilitar o futuro reuso e manutenção;
- Manutenção – A ontologia é modificada ou estendida quando necessário.

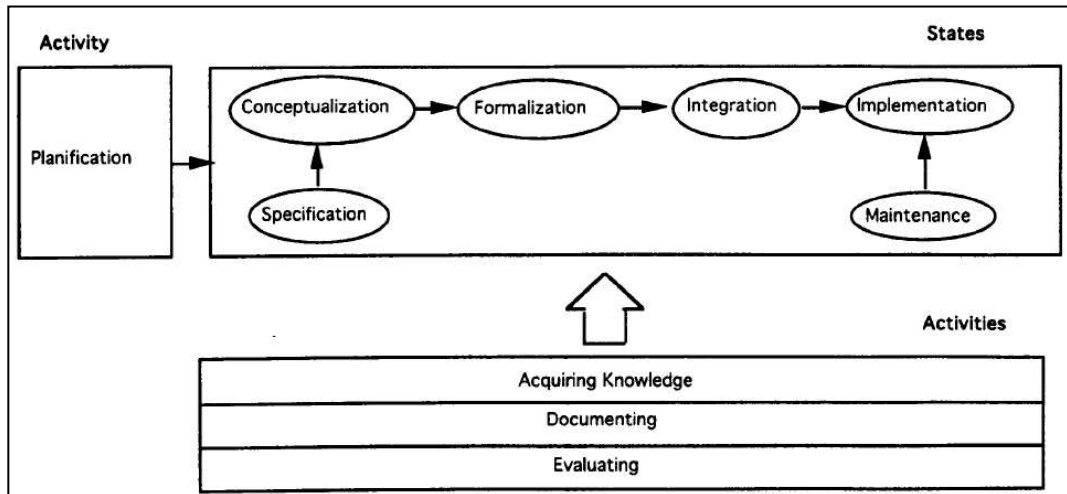


Figura 2: Estágios e Atividades propostos por Fernandez et al. (1997)

Outras metodologias que apoiam o desenvolvimento, adaptação e a integração de ontologias são listadas na Tabela 3.

Tabela 3: Metodologias para a concepção de ontologias

Metodologia	Breve descrição
Cyc	Codifica manualmente o conhecimento implícito e explícito das diferentes fontes, e, quando já se tem conhecimento suficiente na ontologia, um novo consenso pode ser obtido por ferramentas que utilizam linguagem natural.
USCHOLD e KING	Identifica o propósito, os conceitos e relacionamentos entre os conceitos, além dos termos utilizados para codificar a ontologia e, em seguida, documenta-la.
KACTUS	Método recursivo que consiste em uma proposta inicial para uma base de conhecimento; quando é necessária uma nova base em domínio similar, generaliza-se a primeira base em uma ontologia adaptada a ambas aplicações; quanto mais aplicações, mais genérica a ontologia.
Sensus	Constrói ontologias a partir de outras ontologias, identificando os termos relevantes para o domínio e ligando-os à ontologia mais abrangente (Sensus, com 50 mil conceitos); um algoritmo monta a estrutura hierárquica do domínio.
UML2ONTO	Processo de construção de ontologias constituído por etapas e atividades; e baseado na modelagem UML. Na etapa final, um diagrama de classes é convertido em um modelo descrito em OWL.
GRÜNINGER e FOX	Método formal que identifica cenários para uso da ontologia, utiliza questões em linguagem natural para determinação do escopo da ontologia, executa a extração sobre os principais conceitos, propriedades, relações e axiomas, definidos em PROLOG (GRÜNINGER & FOX, 1995).

Fonte: Adaptado de Almeida e Bax (2003, p. 14)

Essas metodologias apresentam abordagens e características distintas. No entanto, independentemente da metodologia adotada, Noy e McGuinness (2001) orientam que:

- não existe uma única forma de representar um domínio, sempre há outras alternativas viáveis. A melhor solução quase sempre depende da aplicação que se tem em mente;
- o desenvolvimento de ontologias é necessariamente um processo iterativo;
- conceitos em uma ontologia devem representar objetos (físicos ou lógicos) e relacionamentos do domínio de interesse. Estes são mais susceptíveis de serem substantivos (objetos) ou verbos (relacionamentos) em sentenças que descrevem o domínio.

Além das abordagens metodológicas, a representação do conhecimento através de ontologias é apoiada por linguagens e ferramentas, abordadas nas subseções a seguir.

2.1.2 LINGUAGENS

Existem diversas linguagens apoiam a especificação de ontologias. Segundo Almeida e Bax (2003), essas linguagens podem ser categorizadas como: linguagens de ontologias tradicionais, Linguagens padrão Web e linguagens de ontologias Web-based. Exemplos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Linguagens para concepção de ontologias

Linguagens de ontologias tradicionais
Cycl, Ontolíngua, F-Logic, CML, OCML, Loom, KIF.
Linguagens padrão Web
XML, RDF.
Linguagens de ontologias Web-based
OIL, DAML+OIL, SHOE, XOL, OWL.

Um estudo comparativo dessas linguagens pode ser encontrado em (STAAB; STUDER, 2003, p. 593-709). Nesse trabalho, em particular, ontologias foram representadas na linguagem OWL (Ontology Web Language), atualmente recomendada pela W3C e abordada na subseção a seguir.

2.1.2.1 OWL – ONTOLOGY WEB LANGUAGE

A linguagem OWL (Web Ontology Language), desenvolvida pela W3C (World Wide Web Consortium), é uma linguagem recente, mas que vem ganhando grande aceitação. Ela deriva de duas propostas diferentes, a Européia OIL (Linguagem de Intercâmbio de Ontologias) e DAML (Linguagem de Anotação de Agentes do Departamento de Defesa dos Estados Unidos). Para atender a diferentes comunidades de usuários, a OWL possui três diferentes sub-linguagens, que diferem quanto ao nível de expressividade (STAAB; STUDER, 2003): OWL-Lite; OWL-DL; e OWL-Full.

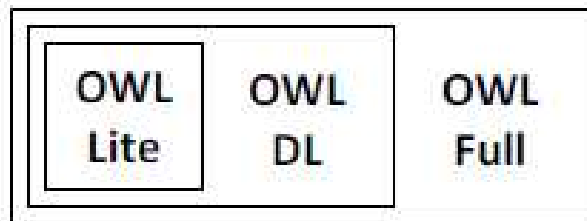


Figura 3: *Sub-linguagens OWL*

Horridge (2011) caracteriza essas sub-linguagens da seguinte forma:

- **OWL-Lite:** é a sub-linguagem sintaticamente mais simples. Destina-se a situações em que apenas são necessárias restrições e uma hierarquia de classe simples. Por exemplo, o *OWL-Lite* pode fornecer uma forma de migração para tesouros existentes, bem como de outras hierarquias simples;
- **OWL-DL:** é mais expressiva que a OWL-Lite e baseia-se em lógica descritiva, um fragmento de Lógica de Primeira Ordem, portanto passível de raciocínio automático. É possível assim computar automaticamente a hierarquia de classes e verificar inconsistências na ontologia;
- **OWL-Full:** é a sub-linguagem OWL mais expressiva. Destina-se a situações onde alta expressividade é mais importante. Não é possível efetuar inferências em ontologias *OWL-Full*.

A W3C disponibiliza alguns guias para usuários interessados na linguagem¹, onde se pode aprender a sintaxe da linguagem e consultar vários exemplos de aplicação. Por outro lado, a maioria dos pesquisadores interessados no desenvolvimento de ontologias costuma utilizar ferramentas como o Protegé, que dispensam o contato direto do usuário com o código em OWL durante a modelagem, mas que exportam a ontologia para o formato .owl quando necessário.

2.1.3 FERRAMENTAS

Existem ferramentas de software desenvolvidas com o objetivo apoiar o processo de desenvolvimento de ontologias; bem como o uso e a manutenção subsequente. Corcho et. al. realizou um estudo comparativo com algumas das ferramentas mais relevantes.

Neste trabalho, em particular, o processo de desenvolvimento foi apoiado pela ferramenta Protegé-OWL, abordada a seguir.

2.1.3.1 PROTEGÉ

O Protegé é um ambiente para desenvolvimento de ontologias, criado pelo departamento de informática da Universidade de Standford. Originalmente pretendia-se que o software servisse como ferramenta para aquisição do conhecimento para um sistema especialista, voltado à área médica.

Por outro lado, a ferramenta foi gradativamente modernizada e hoje permite a concepção de ontologias de domínio, personalizar formulários de entrada de dados, inserir e editar dados. Sua interface gráfica é ilustrada na Figura 4.

¹ Disponíveis em <<http://www.w3.org/TR/owl-features/>>.

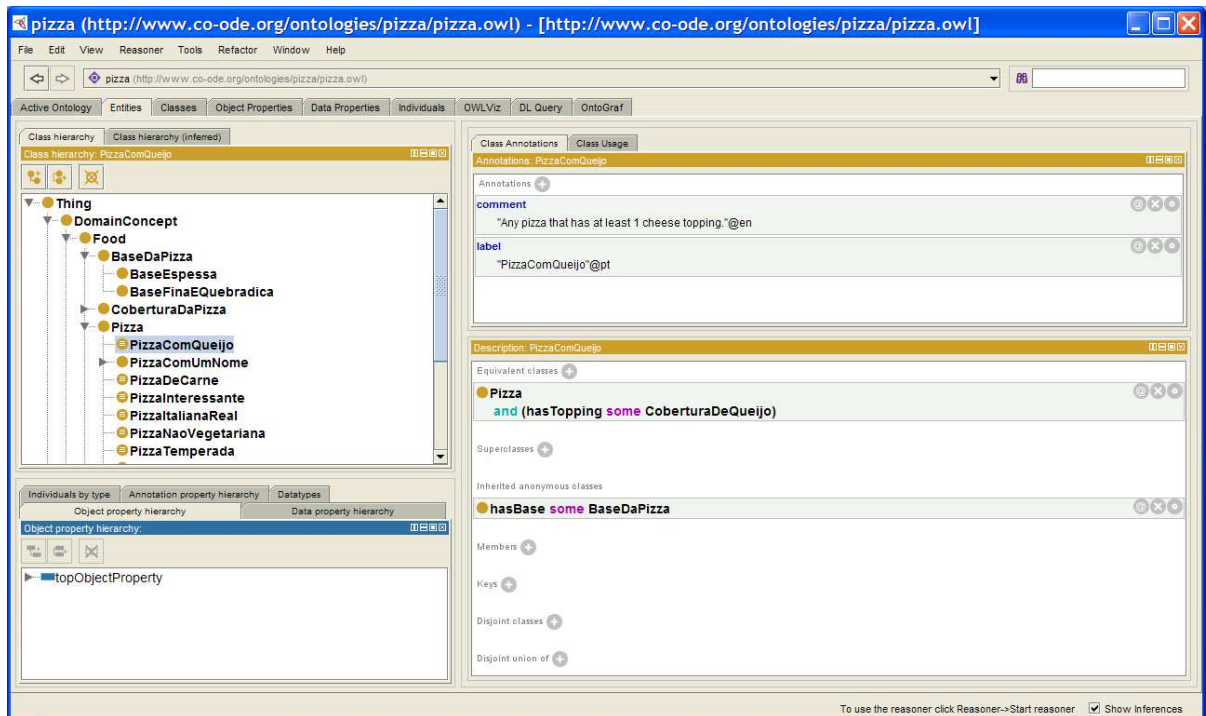


Figura 4: Interface gráfica do Protegé

O guia do usuário, disponível em <<http://protege.stanford.edu>>, descreve todas as funcionalidades da ferramenta, usando como exemplo o passo-a-passo do desenvolvimento de uma ontologia de Pizzas.

O Protegé foi desenvolvido na linguagem Java e possui o código aberto. Dessa forma, permite-se que usuários possam desenvolver componentes integráveis ao software (plugins) utilizando as APIs do Protegé. Essa característica também facilitou o crescimento e a aceitação da ferramenta.

2.1.4 Contribuições de ontologias para engenharia de software

Para a engenharia de software, uma ontologia representa um elemento importante no processo de desenvolvimento de aplicações (Alonso, 2006). Por exemplo, ao disponibilizar um vocabulário especializado para descrição de um dado domínio, a ontologia permite reduzir erros conceituais e de terminologia durante a modelagem e o desenvolvimento do software. Ao mesmo tempo, possibilita tanto o compartilhamento do

conhecimento entre os desenvolvedores do software quanto à transferência e a aquisição desse mesmo conhecimento, apoiados pela análise ontológica.

Além disso, uma ontologia, enquanto base conceitual, pode apoiar a definição, a classificação e a identificação de componentes de software voltados para uma aplicação dentro do domínio ontológico.

Dessa forma, um catálogo de componentes de software pode ser constituído com base na ontologia do domínio. E, uma vez disponível, novos produtos podem ser mais rapidamente desenvolvidos e, ainda, agregar valores como padronização, confiança, baixo custo de desenvolvimento e fácil manutenção, obtidos a partir do reuso de componentes de software já utilizados, testados e validados.

Por essa razão, uma abordagem de desenvolvimento com base em ontologias é especialmente adequada para projetos de software que pertençam ao mesmo domínio ou domínios semelhantes, o que permite estender a noção de reuso para a fase de modelagem, e não apenas na implementação como de costume. Assim, ontologias permitem identificar modelos de componentes reutilizáveis no sistema.

Segundo Alonso (2006), uma ontologia pode ser usada para o projeto e desenvolvimento de software com os seguintes objetivos:

- **especificação:** ontologias são usadas para especificar tanto os requisitos e definição de componentes como as funcionalidades do sistema;
- **validação:** ontologias são usadas para avaliar o projeto do sistema e verificar sua consistência através de processos semi-automáticos;
- **reuso:** ontologias podem ser organizadas em módulos para definir domínios, subdomínios e suas tarefas relacionadas, que podem ser depois reutilizadas ou adaptadas para outros problemas;
- **busca:** ontologias são usadas como repositório de informações;
- **manutenção:** ontologias melhoram o uso e o armazenamento de informações para a manutenção do sistema;

- **aquisição do conhecimento:** ontologias podem ser usadas como um guia para o processo que aquisição do conhecimento.

Supondo que diferentes projetos de softwares sejam desenvolvidos com base em ontologias próprias, a identificação de modelos de componentes originalmente concebidos para um deles, mas passíveis de serem reutilizados no outro, poderá ser facilitada a partir do estudo das ontologias adotadas e do mapeamento entre termos com conceitos correspondentes.

2.2 TREINAMENTO DE OPERADORES DE SISTEMAS INDUSTRIAIS

Operadores de sistemas industriais automatizados, independentemente do setor onde trabalham, estão sob contínua e crescente demanda. Dada complexidade das tarefas que os profissionais precisam realizar, a sobrecarga de informações a serem gerenciadas e as graves consequências do erro humano no ambiente industrial, é essencial que os operadores dominem os controles e o comportamento do sistema, estando preparados para situações críticas e emergenciais.

Em (Torres Filho *et. al.*, 2011) foi realizado uma pesquisa sobre os métodos mais comuns na formação, reciclagem e certificação de operadores sistemas elétricos de potência. Os quais incluem aulas teóricas, aprendizagem de procedimentos operacionais, visitas técnicas a instalações e estudo do histórico de ocorrências.

É comum também a dramatização de ocorrências para treinamento e reciclagem de operadores (MIRANDA; VIEIRA; OLIVEIRA; 2008). Esse método, também usado na formação de bombeiros e salva-vidas, consiste na simulação de uma ocorrência, em que os operadores falam e agem como se estivessem enfrentando uma situação real, devem identificar a razão do problema e indicar o que fariam para resolvê-lo, ainda que não atuem efetivamente sobre os equipamentos. O objetivo é manter os operadores bem treinados, submetê-los a situações pouco frequentes, apesar de possíveis, e avaliar a capacidade individual para solucionar os problemas.

Além disso, são realizadas reuniões periódicas dos operadores com a equipe de engenheiros responsáveis pela instalação, onde são apresentadas e discutidas as últimas ocorrências, as não conformidades observadas naquele período, e eventuais modificações nos procedimentos operacionais. O objetivo é manter os operadores sempre atualizados e evitar que falhas humanas possam se repetir.

Em alguns casos, o operador iniciante adquire experiência operando o sistema real, sendo supervisionado por um operador mais experiente nesse processo de aprendizagem e começando pelas manobras mais simples e frequentes.

Por outro lado, existem grandes restrições à realização de treinamentos no ambiente industrial, sobretudo quanto aos riscos de acidentes e incidentes durante essas atividades. Nesse contexto, um software de simulação desempenha um papel importante, permitindo que usuários, em treinamento, possam realizar atividades operacionais em um ambiente simulado, exatamente como fariam se estivessem operando efetivamente o sistema real, no ambiente industrial.

Entre as vantagens dos simuladores voltados ao treinamento de operadores de sistemas industriais destaca-se a possibilidade de se recriar uma variedade de situações de treinamento, que retratam ocorrências reais, inclusive com o sistema operando em condições adversas. Essa característica favorece o aprendizado dos operadores e o ganho de experiência em curto prazo.

Pressupõe-se que, caso o operador já tenha passado por uma situação, ainda que simulada, em tese, ele estará mais preparado para enfrentar uma situação real. Também durante uma simulação, o operador em treinamento poderá se sentir à vontade para explorar as funcionalidades do sistema de supervisão e controle, e verificar as implicações de determinadas decisões no comportamento do sistema, algo evidentemente impensável numa situação real.

Em particular, a atuação de operadores de subestações elétricas (SE's) está sujeita a uma legislação rigorosa, que determina uma rotina de avaliações e treinamentos. Além

disso, as mudanças na configuração do ambiente de subestações são frequentes, reforçando a necessidade da atualização constante dos conhecimentos dos operadores.

Abreu *et. al.* (2012) apresentam um modelo pedagógico adotado pela área de operação da CTEEP (Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista) para treinamento de técnicos e operadores de subestações. Na Figura 5, é apresentado o esquema da metodologia proposta, a qual é baseada em técnicas tradicionais de ensino e em ferramentas de simulação OTS (Operator Training System).

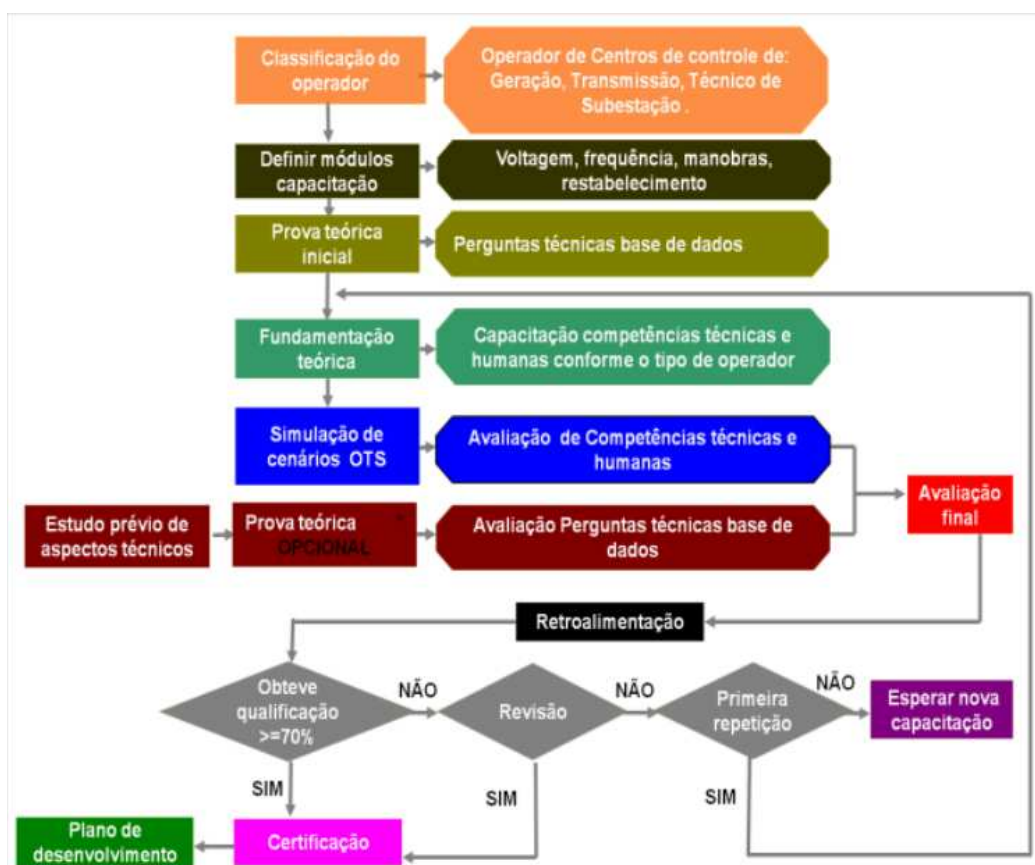


Figura 5: Metodologia para treinamento de operadores adotada pela CTEEP (Fonte: ABREU et. al., 2012)

Nessa metodologia, a avaliação de desempenho baseia-se nos resultados de provas teóricas e na observação de competências técnicas e humanas (comunicação, tomada de decisões, manejo de ansiedade, trabalho em equipe), demonstradas durante execução de cenários de treinamento em softwares de simulação.

Nas subseções a seguir, analisam-se algumas das características e requisitos desejáveis para simuladores de apoio ao treinamento de operadores industriais e destacam-se algumas aplicações já usadas por empresas nacionais e internacionais do setor elétrico.

2.2.1 SIMULADORES DE APOIO AO TREINAMENTO

Dada a crescente preocupação das empresas do setor industrial com a capacitação de seus operadores, ferramentas específicas para treinamento vêm sendo desenvolvidas, sobretudo simuladores (Silva et al., 2009).

Durante sessões de treinamento utilizando simuladores, os usuários têm a oportunidade de enfrentar diferentes problemas e aplicar seus conhecimentos interagindo com interfaces que reproduzem aquelas normalmente usadas na operação do sistema real.

A utilização desses softwares de simulação facilita assimilação dos procedimentos de operação e permite que os treinandos possam praticar com uma réplica do sistema sem a preocupação de interferir no sistema real. Ou seja, a segurança do operador e do sistema ficam resguardadas, e a operação da planta industrial não é interrompida. Ao mesmo tempo, o operador se familiariza com a prática de operação e adquire maior autoconfiança.

Aliado às aulas teóricas e ao estudo de ocorrências anteriores, os operadores podem demonstrar o aprendizado em simulações que reconstituem as situações críticas ou de emergência. Apesar de pouco frequentes, esses casos demandam do operador a capacidade de tomar as decisões corretas e rápidas para trazer sistema às condições normais de operação.

Assim, os simuladores possibilitam um treinamento mais abrangente, os operadores ganham maior experiência e estarão mais preparados para enfrentar situações reais.

Algumas das principais características e requisitos desejáveis em ambientes simulados são descritos em (Torres, 2011) e sintetizados na Tabela 5.

Tabela 5: Requisitos fundamentais para simulador voltados ao treinamento de operadores industriais

<p>Alta Fidelidade do ambiente simulado</p> <p>O operador deve estar seguro de que o modelo que representa o comportamento e a interface dos objetos no simulador são, de fato, compatíveis com aqueles encontrados no ambiente real. Isso permitirá que o treinando possa ser mais facilmente envolvido na situação simulada e, posteriormente, seja capaz de reproduzir no ambiente real, o aprendizado adquirido no treinamento. Nesse sentido, o simulador deve oferecer os recursos que o operador teria disponível para realizar suas tarefas durante ocorrências reais, como a operação sobre botões em painéis e equipamentos, visualização de mostradores analógicos e digitais, visualização de telas de um sistema supervisório, consulta a manuais, comunicação com centros de operação, etc.</p>
<p>Facilidade de configuração de cenários de treinamento</p> <p>É necessário disponibilizar recursos para o instrutor criar uma variedade de cenários de treinamento com diferentes propósitos (instrução, certificação e reciclagem), de acordo com as necessidades de competências do ambiente de operação. Os novos operadores, por exemplo, podem ser treinados em situações de rotina, nas quais são realizadas manobras frequentes, e também em situações nas quais é necessário realizar manobras complexas e raras, como recompor e normalizar o sistema elétrico após desligamentos imprevistos. Por outro lado, operadores experientes podem se beneficiar de simuladores para exercitar manobras pouco frequentes, ou no treinamento de novos procedimentos resultantes de modificações no sistema elétrico. A empresa também pode adotar o simulador no processo de certificação de seus operadores para atuar na operação da planta.</p>
<p>Acesso remoto</p> <p>Uma vez que grandes empresas do setor industrial normalmente possuem instalações geograficamente distantes, um requisito importante para um simulador é permitir a realização de treinamentos à distância. Com isso, evita-se que operadores e instrutores se ausentem de seus postos de trabalho para participar de treinamentos em outras localidades.</p>
<p>Ambiente multiusuário e colaborativo</p> <p>É também um requisito importante permitir que as sessões de treinamento possam ser assistidas por um instrutor em tempo real, inclusive podendo disparar eventos durante a simulação. Por outro</p>

lado, é importante também oferecer o treinamento isolado, respeitando a conveniência do operador e o seu ritmo de trabalho individual.

Avaliação do desempenho

Tendo realizado o treinamento, o software de simulação deve oferecer meios para a análise e qualificação do desempenho do operador no cenário simulado. Do ponto de vista dos operadores, essas informações permitirão corrigir falhas, tirar dúvidas e melhorar a qualidade de seu desempenho. Para o tutor, estas informações permitirão avaliar o progresso de cada treinando, e apoiar a criação de novos cenários de treinamento.

Para atender a esses requisitos, algumas aplicações voltadas ao treinamento de operadores de sistemas industriais são baseadas em realidade virtual (Figura 6), favorecendo a assimilação dos procedimentos técnicos por parte do usuário-treinando através da vivência de situações virtuais semelhantes às situações reais experimentadas no ambiente de trabalho.

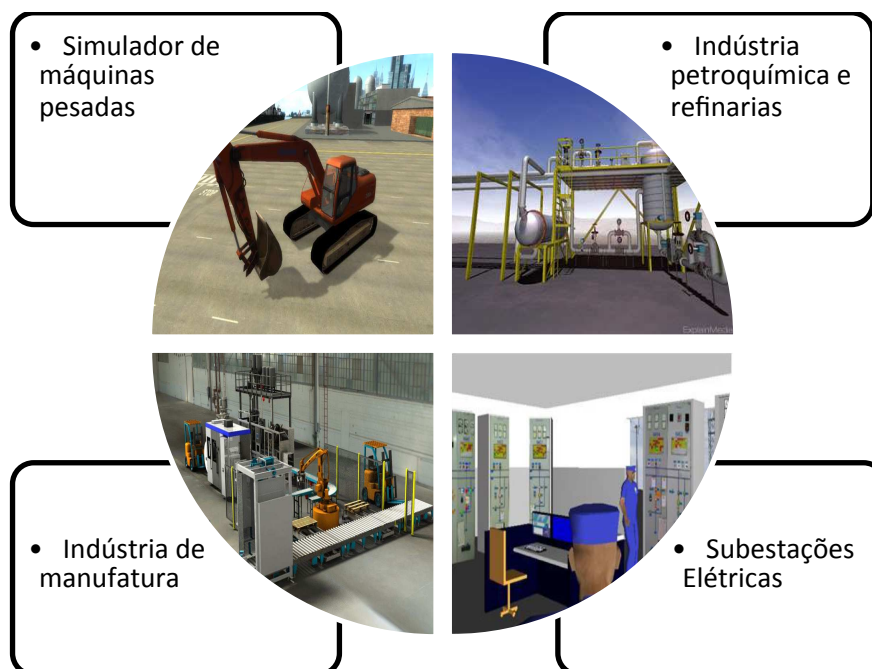


Figura 6: Simuladores baseados em realidade virtual e voltados ao treinamento de operadores industriais

Por outro lado, a experiência e aprendizado adquiridos por operadores industriais em softwares de simulação estão diretamente relacionados aos cenários de treinamento que são projetados. Na seção seguinte, analisa-se o processo de planejamento e concepção de cenários de treinamento.

2.2.2 CENÁRIOS DE TREINAMENTO

Em um ambiente simulado, uma sessão de treinamento inclui um ou mais cenários de treinamento. No contexto desta pesquisa, um cenário de treinamento é constituído pela descrição do estado inicial do ambiente de simulação, pela descrição da sequência de eventos que devem ocorrer durante a sessão de treinamento; e dos personagens e objetos que serão representados.

Esses cenários podem reproduzir situações de rotina, com o sistema operando em condições normais, e em situações de exceção ou críticas, a exemplo de ocorrências que demandam a recomposição do sistema após desligamentos imprevistos. Essa diversidade de cenários de treinamento permite que simuladores possam apoiar tanto na qualificação de operadores iniciantes, como na reciclagem de operadores experientes.

Sendo assim, o planejamento destes cenários é influenciado por fatores como os objetivos do treinamento, o tipo de treinamento a ser realizado e os tipos de tarefas que serão abordadas (Figura 7). Essas informações são especificadas na etapa de planejamento das sessões de treinamento, que precede a definição dos cenários.

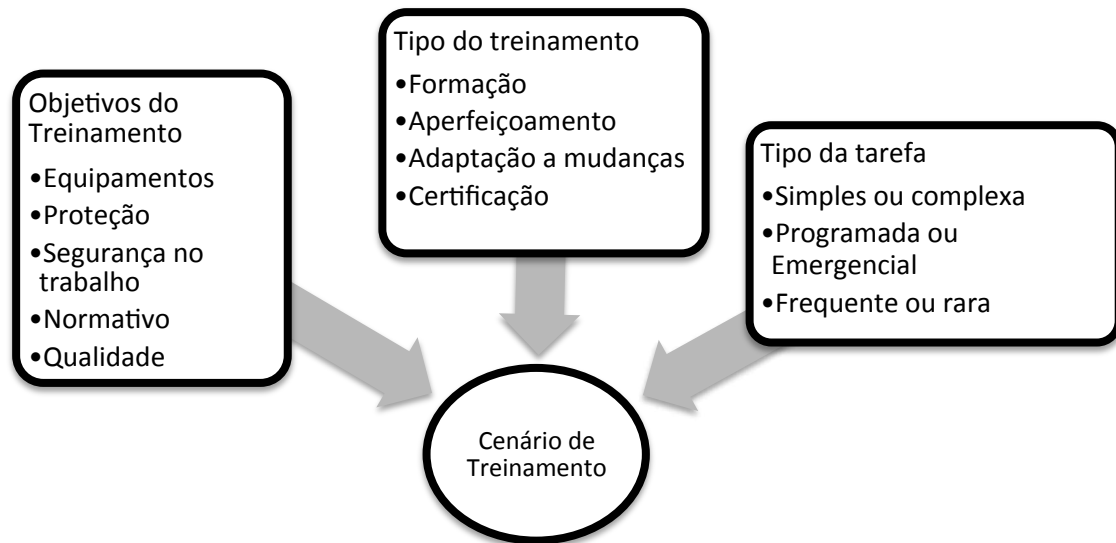


Figura 7: Fatores que influenciam a elaboração de cenários de treinamento

A estrutura genérica de um cenário de treinamento é representada Tabela 8, a qual será detalhada no Capítulo 4 para o contexto de sistemas elétricos.

No Anexo A, encontra-se um exemplo com a descrição de um cenário de treinamento planejado por engenheiros tutores da empresa CHESF² e executado em sessões de treinamento com operadores de subestações.

Esse exemplo, bem como a norma técnica NBR ISO 10015 e os trabalhos de GERRERO (2006) e Rocha (2009), serviram de referencia para a concepção da estrutura genérica de um cenário de treinamento mencionada anteriormente (Tabela 8).

² Companhia Hidro Elétrica do São Francisco.

2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

O processo de planejamento e execução de sessões de treinamento com operadores industriais pode se tornar uma atividade complexa a depender de variáveis como os requisitos exigidos para o treinamento, o número de pessoas e máquinas envolvidas (distribuídos ou não), dificuldade de reuso de recursos e outras.

Nesse contexto, ontologias serão usadas para poder apoiar a concepção de cenários de treinamento, contribuindo com:

- compartilhamento e formalização do conhecimento;
- garantir uma estrutura de dados reutilizável;
- redução do esforço de criação ou edição do ambiente de simulação;
- identificar os componentes e atores envolvidos e os eventos que ocorrem durante uma sessão de treinamento através de uma terminologia formalizada;
- gerenciar de forma eficiente componentes de software;
- identificar e gerenciar diferentes tipos de usuários e suas necessidades particulares de aprendizagem.

Para adquirir essas vantagens, foram desenvolvidas as ontologias apresentadas no Capítulo 4, que apoiam o processo de desenvolvimento de cenários de treinamento, no contexto de sistemas elétricos, apresentado no Capítulo 5. Antes, porém, destaca-se alguns trabalhos relacionados a esta pesquisa, no Capítulo 3, a seguir.

Capítulo 3 – Trabalhos Relacionados

Neste capítulo, são apresentados e discutidos trabalhos relacionados a essa pesquisa. Buscou trabalhos relacionados ao desenvolvimento de simuladores para treinamento de operadores industriais orientados por ontologias. São citados trabalhos dentro do contexto de sistemas elétricos, mas também de outras áreas da indústria.

Alguns desses trabalhos citados também foram desenvolvidos dentro do âmbito do LIHM – Laboratório de Interfaces Homem-Máquina. Os resultados destes trabalhos serviram de base para o desenvolvimento desta pesquisa.

3.1. PROJETOS DE SIMULADORES ORIENTADOS POR ONTOLOGIA

Neste trabalho, propõe-se a aplicação de ontologias na elaboração do treinamento simulado e de cenários de treinamento de forma a apoiar seu processo de desenvolvimento, facilitando a construção de novos ambientes virtuais e a reprodução de situações reais vivenciadas por operadores de subestações elétricas e de outros ambientes industriais.

Muitos autores já demonstraram a aplicação de ontologias para o campo de Modelagem e Simulação - M&S, que permite a definição de um modelo conceitual de forma explícita, sem ambiguidades e possível de ser processado por máquinas (Tolk et al, 2010), (Lee & Zeigler, 2010) e (Ören, 2012).

A seguir são mencionados alguns destes sistemas que utilizam uma abordagem ontológica na modelagem de plantas industriais e na simulação de processos.

A plataforma de desenvolvimento Simantic (Luukkainen; Karhela, 2008), por exemplo, permite que um usuário possa representar uma planta ou processo a partir de uma biblioteca de componentes 3D disponível na ferramenta. O Simantic prevê a concepção de ontologias para: a representação gráfica dos componentes da planta, do comportamento

visual desses componentes (animações) e dos modelos de simulação que representam o comportamento físico de cada componente. Então, através de mapeamentos entre essas ontologias, o sistema irá automaticamente gerar um simulador para a planta descrita pelo usuário.

Por exemplo, a Figura 9a ilustra uma simulação gerada por essa plataforma em que se visualiza o aumento do nível de um líquido armazenado por um tanque e o aumento da temperatura do líquido armazenado por outro tanque. O aumento no nível do líquido é representado pelo preenchimento do interior do tanque, enquanto que o aumento de temperatura é associado a uma mudança de cor na representação do líquido.

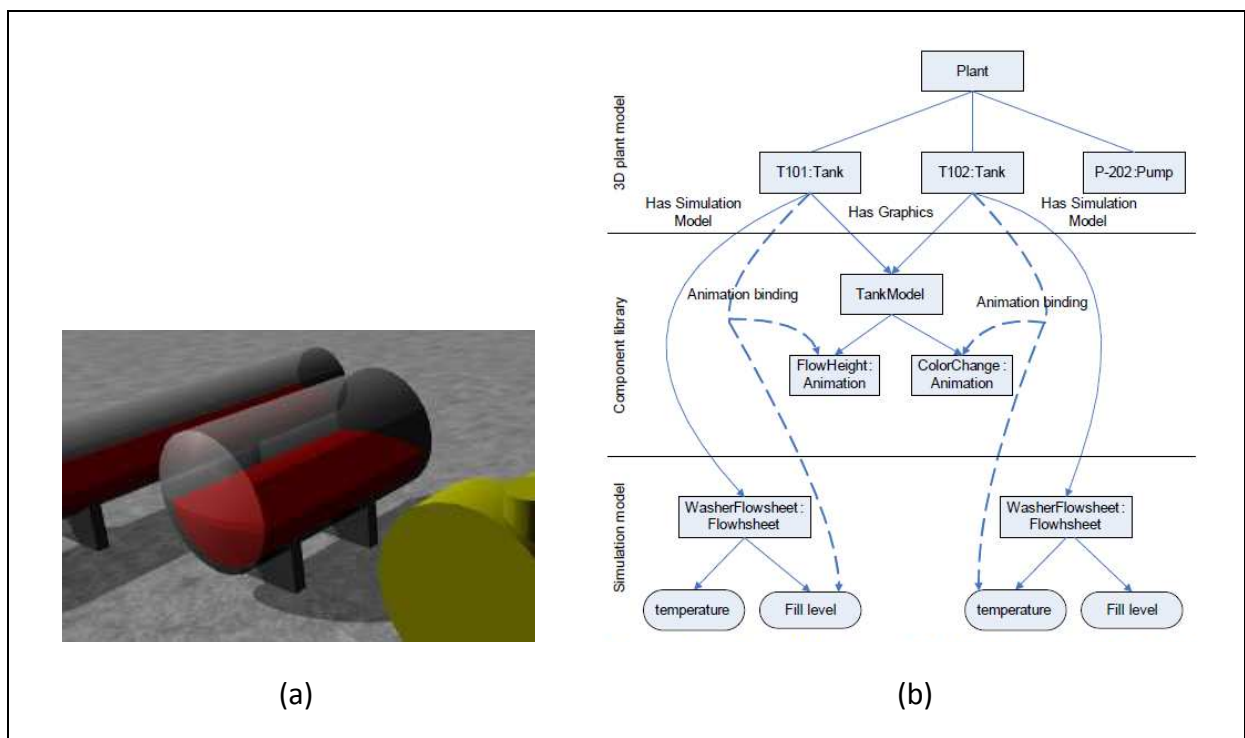


Figura 8: Uma simulação gerada pela plataforma Simantic e seu modelo de dados (Fonte: Luukkainen; Karhela, 2008).

Na Figura 9b é apresentado o modelo de dados global para essa simulação, em que estão presentes o modelo 3D da planta, a biblioteca de componentes contendo modelos de animação dos equipamentos e os modelos de simulação. Na figura, também é representada a associação entre os modelos.

Por outro lado, na abordagem proposta por Luukkainen e Karthela (2008) o resultado é uma animação com a simulação do processo. Esta animação pode ser visualizada, mas o treinando não interage com os objetos virtuais representados.

Neste trabalho, pretende-se que o treinando possa interagir com os objetos virtuais representados no cenário de treinamento, exercitando a execução de procedimentos e permitindo a tomada de decisão.

Parisi *et. al.* (2007) propõem uma metodologia também para a geração automática de animações 3D voltadas para treinamento e reciclagem de operadores industriais. Uma ontologia é usada para filtrar e entender requisitos genéricos de treinamento expressos na linguagem natural. O resultado é uma animação adaptável, que pode ser customizada por um designer não especialista no domínio e, posteriormente, visualizada pelos treinandos. Em (Kalogerakis *et al.*, 2006) é apresentada outra metodologia, apoiada pela plataforma desenvolvimento I3DVP, que propõe a integração de ontologias de domínio com cenas 3D de realidade virtual. Dessa forma, obtém-se o enriquecimento do ambiente virtual a partir do conhecimento do domínio.

Similarmente a proposta apresentada neste trabalho, os trabalhos de Parisi *et. al.* (2007) e Kalogerakis *et. al.* (2006) usam ontologias para descrever um domínio, o mesmo em que se pretende treinar operadores, e a partir da descrição ontológica do cenário de treinamento permite-se o reuso de componentes já disponíveis para composição automática do cenário de treinamento.

Mais recentemente, mas seguindo a mesma abordagem, Goreky *et. al.* (2014) demonstra o uso prático de ontologias no desenvolvimento de um simulador voltado ao treinamento em processos de montagem na indústria automobilística. Contrastando com esses trabalhos, dedica-se ao treinamento de operadores de sistemas elétricos na presente pesquisa e buscou-se identificar elementos que fazem parte de dois domínios: cenário de erro e cenário de treinamento.

Assim, elementos usados para descrever um cenário de erro podem ser reutilizados para compor um cenário de treinamento, reduzindo o esforço do tutor. O objetivo é treinar os operadores em situações onde houve erro humano para evitar que o erro se repita e, principalmente, evitar suas consequências.

Outro trabalho correlato é o de Pittarello e Faveri (2006) que propõem introduzir informações semânticas em mundos virtuais 3D, combinando o uso de dois padrões da web: X3D e web semântica. A abordagem é também caracterizada pela definição de ontologias de apoio para realizar anotações e pela definição de zonas semânticas para complementar a descrição dos objetos em um ambiente virtual.

Longo (2010) realizou um estudo sobre o uso de simulação para situações de emergência, como gerenciamento de desastres e problemas de evacuação de ambientes. Ele concluiu que ontologia é uma forma adequada para uma representação formal de um desastre e que a descrição correta do domínio desastres é a base para ferramentas de suporte e planejamento de treinamentos e análise experimental em cenários de emergência.

Dentro do contexto de treinamento de bombeiros, Rocha *et. al.* (2009) propuseram uma arquitetura de apoio a modelagem de simulações de treinamento apoiada por um conjunto de ontologias no domínio do combate a incêndios.

Rocha *et. al.* (2013) também propõem uma metodologia de design de simuladores para treinamento com ambiente de simulação virtual tridimensional. Essa metodologia é constituída por três etapas principais: pré-produção (planejamento), produção (análise, projeto, implementação, integração e teste) e pós-produção (execução e avaliação dos resultados).

Por outro lado, essa metodologia não se apoia no reuso de componentes e não tem por objetivo facilitar o projeto de cenários de treinamento para simuladores já desenvolvidos, foco do presente trabalho.

Percebe-se nos trabalhos citados anteriormente o potencial do uso de ontologias como ferramenta de suporte ao desenvolvimento de simuladores e a modelagem de cenários de treinamento em diferentes contextos e domínios.

Contrastando com esses trabalhos citados, dedica-se ao treinamento de operadores de sistemas elétricos na presente pesquisa. Preocupa-se aqui não apenas com os requisitos de interface e interação, mas também com os eventos programados para simulação e com o desempenho dos operadores em treinamento. Propõe-se também uma abordagem sistemática para a construção de cenários de treinamento a partir de cenários de erro.

3.2. TRABALHOS DE PESQUISADORES DO LIHM

Este trabalho se insere no contexto do desenvolvimento de métodos, processos e ferramentas que apoiam a realização e a avaliação de treinamentos de operadores de sistemas de automação industrial. As ferramentas desenvolvidas no Laboratório de Interfaces Homem-Máquina (LIHM) da UFCG consistem de um simulador para treinamento de operadores, recursos para o registro e monitoramento dos treinamentos realizados e aplicativos de software para gestão e planejamento de treinamentos.

Nas subseções a seguir, apresentam-se alguns projetos desenvolvidos no âmbito do LIHM e relacionados a esta pesquisa.

3.2.1. SIMULIHM

Nesta seção, descreve-se o projeto de um simulador para treinamento de operadores de subestações elétricas, o SimuLIHM, atualmente em desenvolvimento no Laboratório de Interfaces Homem-Máquina, do DEE-CEEI-UFCG.

Esse sistema possui uma arquitetura modular e distribuída, composta por três ambientes: um módulo voltado para os treinandos (operadores), outro para o usuário tutor, e o servidor (Figura 9). Os ambientes podem ser acessados via internet ou intranet,

permitindo a realização de treinamentos à distância e a participação simultânea de grupos de operadores, os quais podem interagir entre si e com o tutor.

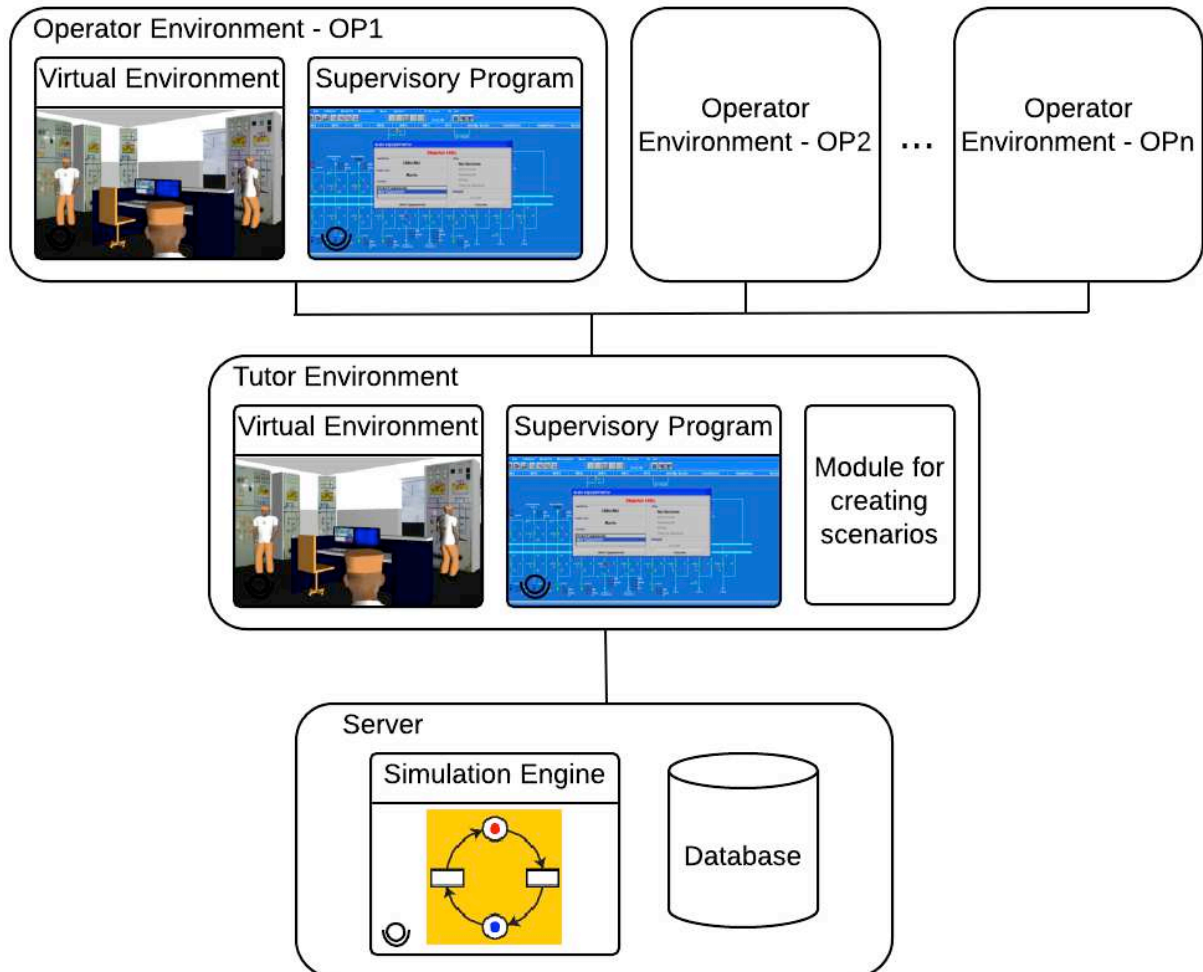


Figura 9: Arquitetura do SimuLIHM

O módulo operador consiste no ambiente utilizado pelo operador para executar os seus treinamentos e disponibiliza um ambiente de simulação que reproduz, em realidade virtual, uma típica sala de controle de uma subestação distribuidora de energia elétrica.

Nesse ambiente virtual tridimensional (3D), os operadores, em treinamento, podem deslocar-se no ambiente, interagindo com ele a partir de um mouse ou teclado, e realizar suas tarefas de forma semelhante ao que fariam no ambiente real. Para isso, interagem com representações virtuais dos painéis de controle e com um sistema supervisorio real, cujo acesso é feito através do ambiente virtual.

O módulo tutor é responsável por gerir a comunicação entre o servidor e os clientes, criando as sessões de treinamento. Este módulo é composto por ferramentas de apoio ao tutor que auxiliam na edição de cenários de treinamento concebidos para diferentes propósitos (treinamento introdutório, reciclagem, e certificação); no acompanhamento do treinamento (monitoramento das atividades dos operadores); e na avaliação de seus resultados (oferecendo recursos para playback e geração de relatórios a partir do armazenamento de dados).

Dado o nível de realismo representado nas simulações, os cenários de treinamento podem replicar situações da rotina de operação ou contingências ocorridas na empresa. A partir da análise do histórico de falha humana da empresa é possível também antecipar situações-problema.

Por fim, o servidor armazena as informações do treinamento através de um sistema de gerenciamento de banco de dados – SGBD (SQL Server) e contém o motor de simulação do sistema. A comunicação entre os módulos é através do protocolo TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol).

Os objetos de interação representados no simulador possuem três camadas distintas, conforme ilustrado na Figura 10. Cada camada é constituída por um modelo executável que descreveremos a seguir.

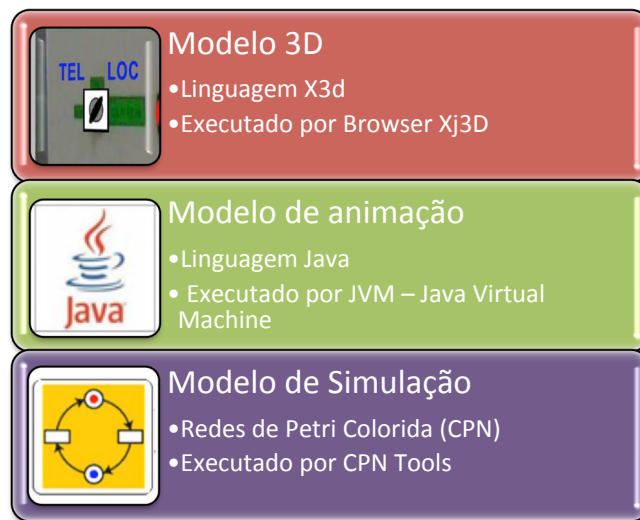


Figura 10: Camada de modelos que constituem um objeto de interação no SimuLIHM

3.1.1.1. MODELO 3D

Esses modelos são descritos na linguagem X3D (eXtensible 3D) e são executados pelo visualizador Xj3D (Brutzman *et al*, 2007), possibilitando a navegação no espaço virtual e a interação com os elementos que o compõem.

Para a elaboração destes modelos é necessário o domínio de ferramentas de modelagem 3D. No projeto do SimuLIHM, foi utilizado o X3D-Edit como ferramenta de modelagem e desenvolvida uma biblioteca de objetos que podem ser reutilizados na composição de diferentes cenários (Torres *et al*, 2011).

3.1.1.2. MODELO DE ANIMAÇÃO

Para animar os modelos executados no visualizador foi necessário utilizar a API Scene Access Interface – SAI, desenvolvida em Java e definida pela norma ISO/IEC 19775-2:2004. Essa API oferece um conjunto de métodos que permitem acessar a cena 3D e definir o comportamento dos objetos representados, que também poderá ser alterado a partir de ações dos usuários.

Além disso, esta camada comunica-se com os modelos em X3D e os modelos de simulação.

3.1.1.3. MODELO DE SIMULAÇÃO

Para descrever o comportamento dos objetos foi criada uma biblioteca com os modelos de simulação. Estes modelos são descritos em Redes de Petri Coloridas (CPN) e representam o funcionamento dos objetos de interação de uma subestação e os seus estados (Nascimento Neto; Vieira, 2005) (Torres; Vieira, 2010). A biblioteca possui dois grupos de modelos: os que modelam o comportamento dos objetos da sala de controle, mais especificamente dispositivos de operação do sistema (chaves, botoeiras, mostradores, painéis e outros); e os que modelam o campo (planta), localizados na área externa da subestação (por exemplo, linhas de transmissão, disjuntores e chaves seccionadoras).

3.2.2. MODELO CONCEITUAL DE CENÁRIOS DE ACIDENTES CAUSADOS PELO ERRO HUMANO EM AMBIENTES INDUSTRIAIS CRÍTICOS

Guerrero (2006) definiu um processo para concepção de um modelo conceitual para representar cenários de acidentes causados pelo erro humano, e tem como foco a concepção de interfaces ergonômicas. O processo proposto foi validado a partir de um estudo de caso no contexto da empresa CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco. O modelo resultante é constituído por uma ontologia de domínio, uma taxonomia do erro humano e uma tipologia dos principais cenários de acidentes.

Os resultados do trabalho do trabalho de Guerrero (2006) serviram de base para concepção das ontologias apresentadas no Capítulo 6.

3.2.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE OPERADORES DE SISTEMAS ELÉTRICOS EM AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Ademar (2015) propõe um processo de avaliação do desempenho de operadores que se apoia no registro e monitoramento das atividades realizadas durante a execução de um cenário de treinamento em simuladores. O objetivo é apresentar um diagnóstico de desempenho do treinando e a classificação dos erros cometidos.

Considerando que o foco no presente trabalho é o planejamento e a elaboração de cenários de treinamento, contribui-se com a referida pesquisa de doutorado apresentando cenários de treinamento que possam ser executados por operadores de sistemas elétricos, gerando resultados que possam ser avaliados pelos pesquisadores.

Por outro lado, esta interação também permitiu validar o modelo conceitual de cenários de treinamento e a abordagem de desenvolvimento desses cenários, propostos neste trabalho.

3.2.4. GERADOR DE CENÁRIOS DE TREINAMENTO PARA O AMBIENTE SAGE/SIMULOP

A presente pesquisa contribuiu com um projeto de pesquisa e desenvolvimento, financiado pela CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco – e desenvolvido no Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, sob a coordenação da professora Ph.D. Maria de Fátima Queiroz Vieira (DEE/UFCG).

O referido projeto consiste no desenvolvimento de um gerador de cenários para o treinamento de operadores no ambiente de simulação SAGE/SIMULOP. Também está prevista a construção de um banco de dados de cenários para os instrutores responsáveis pela elaboração de treinamentos de operadores nos centros de operação e instalações da empresa CHESF. Tal banco deverá facilitar o acesso, o compartilhamento e a gestão de um acervo de cenários que reproduzem tanto situações onde o sistema elétrico opera em condições normais, quanto em contingências operacionais.

Ontologias definidas neste trabalho, e apresentadas no Capítulo 4, serviram de guia para especificação do software, do banco de dados do sistemas e na definição dos componentes de um cenário de treinamento. São definidos o contexto no qual o cenário se apresenta (configuração e estado da planta, atores e recursos materiais envolvidos) e os

eventos programados para ocorrer durante a execução do cenário. Posteriormente, modelo conceitual é mapeado para o formato padrão carregado no SAGE/SIMULOP.

Na Figura 11 está representada uma tela de edição deste sistema de geração de cenários. A seguir, descreve-se brevemente o sistema SAGE/Simulop.

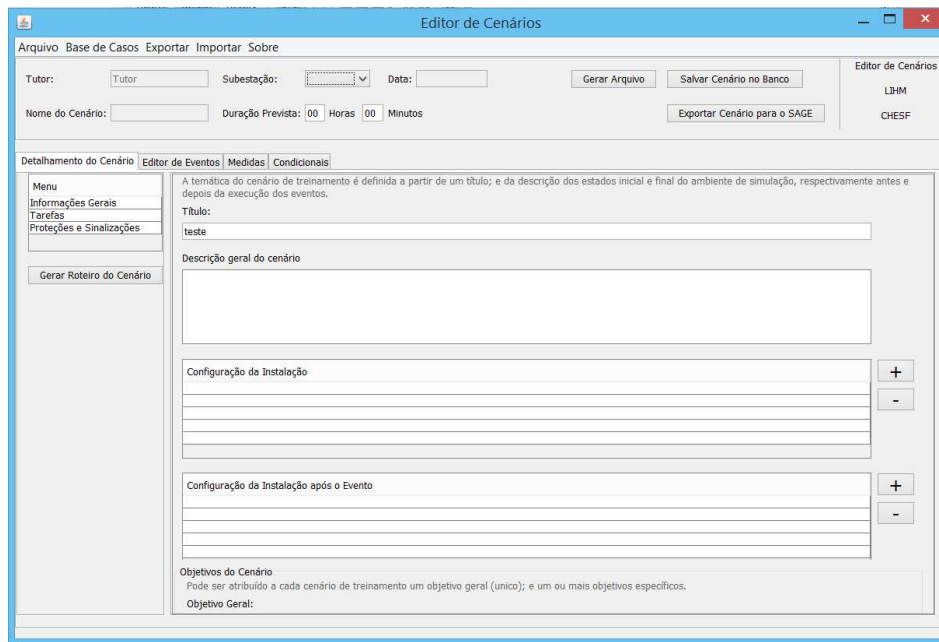


Figura 11: Módulo de edição de cenários para o sistema SAGE/Simulop

3.2.4.1 SAGE/SIMULOP

O simulador Simulop foi constituído a partir da integração do SAGE³, um sistema de supervisão e controle de sistemas de potência, com um simulador digital em tempo-real de sistemas elétricos de potência de propriedade da EPRI⁴.

Este simulador é usado no Brasil por concessionárias e empresas de geração e distribuição de energia elétrica para treinamento e certificação de operadores.

³ Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia desenvolvido no Brasil pelo centro de pesquisa em energia elétrica (CEPEL)

⁴ Electric Power Research Institute

Para o processo de integração entre o sistema supervisor SAGE e o simulador OTS foi necessário o desenvolvimento de: filtros estáticos, filtros dinâmicos e protocolos de comunicação.

Na Figura 12 , é representada a arquitetura geral do sistema SIMULOP, onde são ilustrados seus principais componentes:

- Base SAGE – base de dados distribuída do sistema, em tempo real;
- EPRI-API – biblioteca de rotinas com interfaces para acesso à base de dados do simulador;
- Simulador OTS – simulador digital em tempo real de sistemas elétricos de potência;
- Filtro Estático – aplicativo que faz a transferência dos dados cadastrais da base de dados do sistema SAGE para a base de dados do simulador OTS;
- Filtro Dinâmico – aplicativo que faz a conexão, em tempo real, dos pontos de comando e supervisão do sistema SAGE ao sistema elétrico representado no simulador.

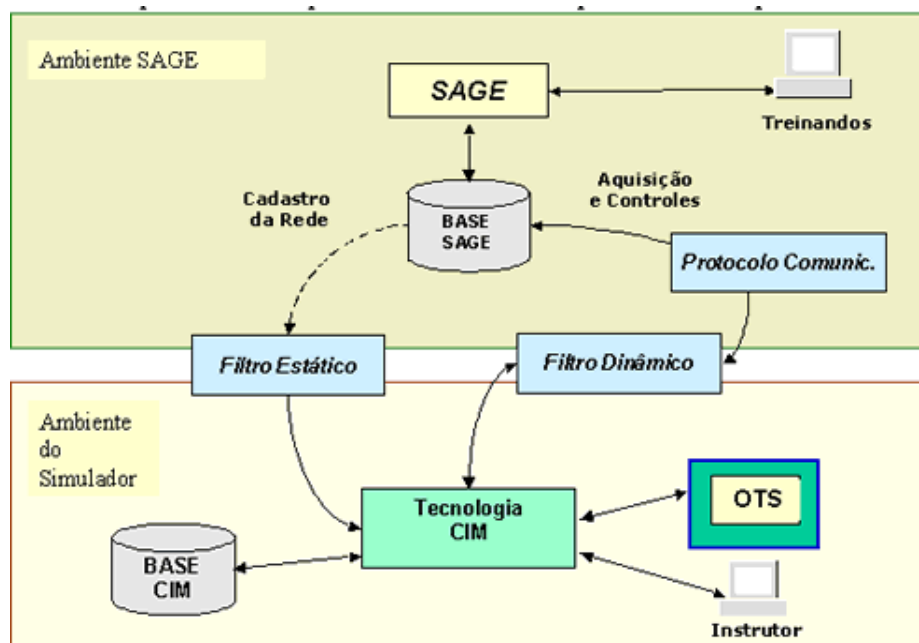


Figura 12: Arquitetura geral do SIMULOP (LEITE; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2007)

Neste simulador, um cenário de treinamento é definido a partir de um caso base e de grupos de eventos.

O caso base estabelece o ponto de partida da simulação, ou seja, a configuração do sistema, como o estado inicial dos equipamentos de proteção, transmissão e unidades geradoras.

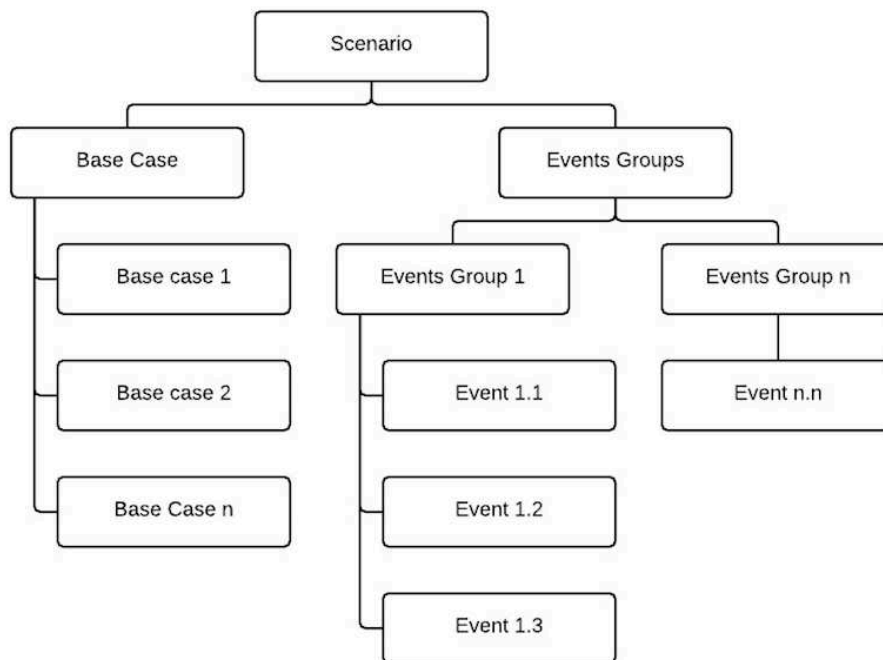


Figura 13: Estrutura de cenários de treinamento no Simulop

O caso base zero representa uma condição de convergência do sistema. Por outro lado, outros casos podem ser definidos a partir de um “snapshot” de um determinado estado do sistema. Este registro pode ser salvo para representar um novo caso base.

Um evento é uma ocorrência programada que altera o estado do sistema, como a abertura de um disjuntor, por exemplo. O tutor pode definir uma sequência de eventos que ocorrerão durante a sessão de treinamento e, por conveniência, os eventos são organizados em grupos.

Neste capítulo, foram apresentados alguns trabalhos relacionados a esta pesquisa. Parte destes trabalhos foram realizados no âmbito do LIHM – Laboratório de interfaces Homem-máquina, no qual são desenvolvidos métodos e ferramentas que apoiam o treinamento de operadores de sistemas industriais. Outros trabalhos citados também utilizam uma abordagem ontológica para apoiar o desenvolvimento de simuladores. No capítulo seguinte, apresenta-se um conjunto de ontologias que podem apoiar o desenvolvimento de aplicações voltadas ao treinamento de operadores de subestações elétricas.

Capítulo 4 – Ontologias para descrição de treinamentos, cenários de treinamento e cenários de erro

Neste capítulo, registram-se as etapas de construção de ontologias no domínio da operação de subestações de sistemas elétricos. Estas etapas apoiam a descrição de treinamentos com operadores de subestações elétricas e a modelagem de cenários de treinamento em um ambiente simulado.

O modelo ontológico pode ser usado para apoiar o desenvolvimento de uma variedade de aplicações dentro deste contexto, tais como: simuladores ferramentas de gestão; de avaliação do treinamento; entre outras, facilitando a interoperabilidade e a compatibilidade entre aplicações independente de uma implementação específica.

Para representação deste domínio, foi planejado um conjunto de oito ontologias, são elas: *Treinamento*, *Recursos*, *Cenario*, *Cenario_De_Treinamento*, *Cenario_De_Erro*, *Modelo_3D*, *Planta* e *IHM*. Cada ontologia representa uma porção do domínio e, conforme ilustrado na Figura 14, essas ontologias foram integradas. Conceitos das ontologias *Modelo3D*, *Planta* e *IHM* são incorporados à ontologia *Cenario*. Por sua vez, alguns conceitos da ontologia *Cenario* são incorporados à ontologia *Treinamento*.

As ontologias *Cenario_De_Treinamento* e *Cenario_De_Erro* estendem a ontologia *Cenario* para acomodarem, respectivamente, conceitos específicos de uma situação de treinamento e uma situação de erro humano cometido durante a operação da planta.

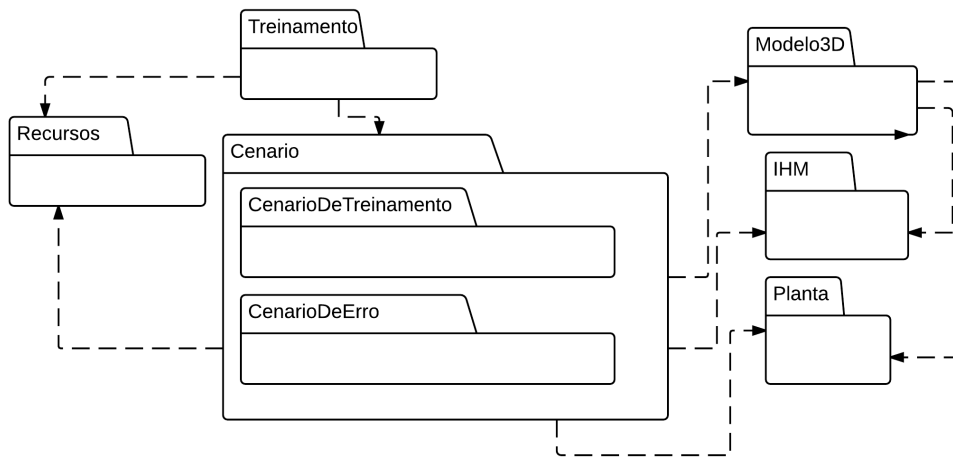


Figura 14: Integração de ontologias para descrição semântica do treinamento simulado

Nesta pesquisa, através do modelo apresentado para representação do conhecimento, verificou-se que os dois tipos de cenários possuem elementos em comum. Assim, parte de um cenário de erro descrito pode ser reaproveitado na composição de um ou mais cenários de treinamento.

Do ponto de vista instrucional, esta é uma estratégia vantajosa porque objetiva-se evitar que erros cometidos por operadores possam se repetir e diminui-se o esforço de tutores na modelagem do cenário de treinamento.

Essas ontologias foram desenvolvidas na linguagem OWL-DL, com o apoio do editor Protégé. E são detalhadas a seguir, da seção 4.1 à 4.5. Na seção 4.6 são apresentadas as considerações finais do capítulo.

4.1. ONTOLOGIAS TREINAMENTO E RECURSOS DO TREINAMENTO

Na ontologia *Treinamento* são definidos um conjunto de conceitos e propriedades, relativos à descrição de treinamentos com operadores de sistemas elétricos. Esse vocabulário inclui os tipos de treinamento, métodos utilizados, objetivos, temática do treinamento e os recursos necessários ao treinamento (recursos humanos, materiais e financeiros).

Na Figura 15 é representado o nível mais alto da hierarquia de classes da ontologia *Treinamento*. A superclasse owl:Thing está presente em toda ontologia descrita na linguagem owl e representa o conjunto que contém todos os indivíduos, uma vez que todas as subclasses derivam desta.



Figura 15. Nível mais alto da hierarquia de classes da ontologia *Treinamento*

Para descrever um treinamento e os elementos que o compõe, foram definidas as classes descritas a seguir:

- **Treinamento** – É o principal conceito desta ontologia. Entende-se por treinamento a atividade que visa ampliar ou complementar a capacidade profissional dos empregados dentro das peculiaridades de seu cargo ou funções (ISO 10015). Todo treinamento possui uma temática, objetivos (Geral e específicos), um método, recursos (humano, material ou financeiro), sessões e uma agenda. Estão definidos três tipos de treinamento, subclasses desta classe:

- `Treinamento_De_Formacao` – Treinamento realizado com o objetivo de preparar o candidato, em caráter seletivo, para iniciar o exercício do cargo, fornecendo-lhe os conhecimentos teóricos e práticos necessários, bem como o comportamento a ser adotado na atividade de operação (CHESF, 2006).
- `Treinamento_De_Aperfeicoamento` – Treinamento realizado com o objetivo de melhorar o desempenho do operador na sua função, compreendendo: integração, revisão, prontidão de emergência, comportamental e especialização (CHESF, 2006).
- `Treinamento_De_Adaptacao_As_Mudancas` – Treinamento realizado com o objetivo de proporcionar a adaptação do operador às mudanças de caráter técnico, processual, ou de alterações funcionais (CHESF, 2006).
- `Tematica_Do_Treinamento` – A temática do treinamento é definida através de um título e uma descrição. Esta classe tem como subclasses: `Treinamento_Em_Equipamento`; `Treinamento_Em_Supervisao_E_Medicao`; `Treinamento_Em_Manutencao`; `Treinamento_Em_Normativo`; `Treinamento_Em_Pratica_Operacional`; `Treinamento_Em_Automacao`; `Treinamento_Em_Prontidao_De_Emergencia`; `Treinamento_Em_Protecao`; `Treinamento_Em_Seguranca_No_Trabalho`; `Treinamento_Em_Controle`; `Treinamento_Em_Servicos_Auxiliares`.
- `Objetivo_Do_Treinamento` – O objetivo do treinamento é definido através de um objetivo geral e objetivos específicos. Uma instância desta classe tem apenas um, e somente um, objetivo geral e ao menos um objetivo específico. Esta classe não tem subclasses.
- `Sessao_De_Treinamento` – Define uma atividade praticada pela equipe do treinamento (treinandos, instrutores e auxiliares) como parte de um

treinamento e a abordagem metodológica que é adotada em um treinamento. Foram definidas três abordagens diferentes, subclasses desta classe: *Aula_Teorica*; *Visita_Tecnica* e *Treinamento_Simulado*. Em particular, o treinamento simulado é possível através da dramatização de ocorrências no ambiente real de operação. Esse método, também usado na formação de bombeiros e salva-vidas, consiste na simulação de uma ocorrência, durante a qual os operadores falam e agem como se estivessem enfrentando uma situação real, identificando a causa do problema e indicando o que fariam para resolvê-lo sem, no entanto atuar sobre os equipamentos. Além destas simulações que ocorrem no ambiente de trabalho, também são adotados simuladores os quais possibilitam reproduzir situações que levem o operador a exercitar a execução de procedimentos operacionais sobre uma réplica sistema.

- *Agenda_Do_Treinamento* – Define a data de início e a data de fim do treinamento e o local onde será realizado.
- *Avaliacao* – Análise de tutores sobre o desempenho dos treinandos nas sessões de treinamento.
- *Plano_De_Elaboracao* – Define um cronograma para elaboração do treinamento com datas (início, fim e limite), periodicidade e validade.
- *Experiencia_No_Cargo* – Define o tempo de permanência do funcionário/treinando no cargo que ocupa.

Conceitos da ontologia *Recursos_Do_Treinamento* são incorporados a ontologia *Treinamento*. Esses conceitos são definidos a seguir.

- *Recurso_Do_treinamento* – Todo treinamento tem recursos humanos materiais ou financeiros. Veja na Figura 16 a hierarquia de classes de recursos de treinamento.

- Recurso_Humano – Funcionario (Engenheiro, Operador ou Técnico), Participante_Do_Treinamento (Tutor, Treinando ou Auxiliar), Equipe_Do_Treinamento.
- Recurso_Material – Documento (Manual, Norma, Diagrama, Relatorio ou outro documento), Computador, Software, Equipamento_Audio, Equipamento_Video.
- Recurso_Financeiro – Orçamento, Despesa, Receita.

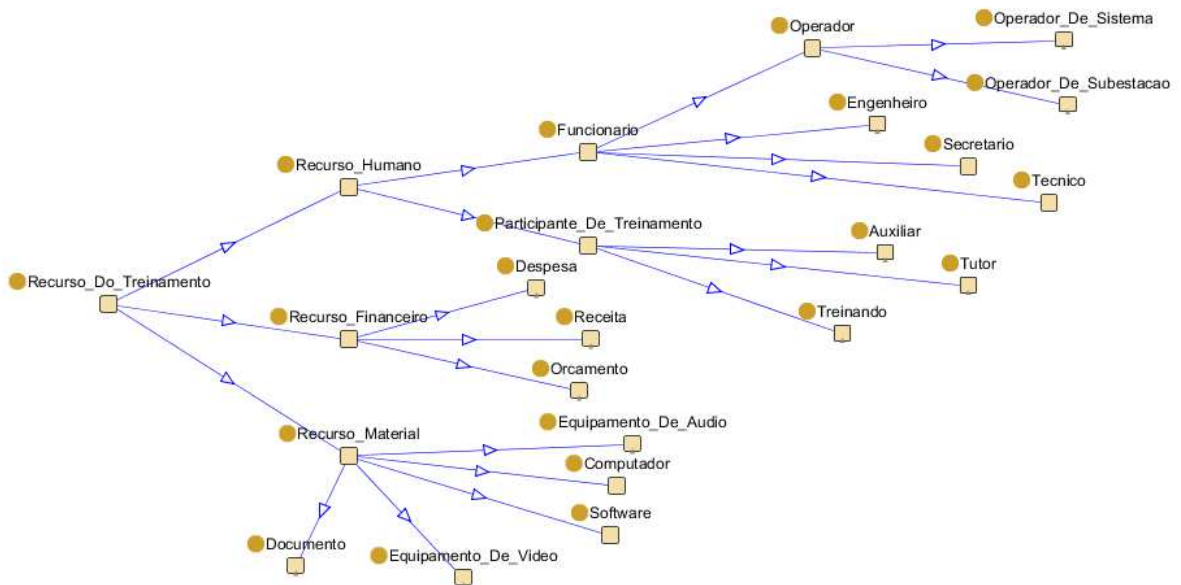


Figura 16: Hierarquia de classes de Recursos do treinamento

Na Figura 17 é apresentada a descrição do conceito Treinamento no editor de ontologia Protegé. Os elementos que constituem e descrevem um treinamento são: objetivo; temática; público alvo; pré-requisitos; recursos materiais; orçamento; equipes de tutores, treinandos e auxiliares; a agenda e as sessões de treinamento. Por sua vez, as sessões de treinamento são descritas pelo método de treinamento adotado e por seus participantes (tutores, treinandos ou auxiliares).

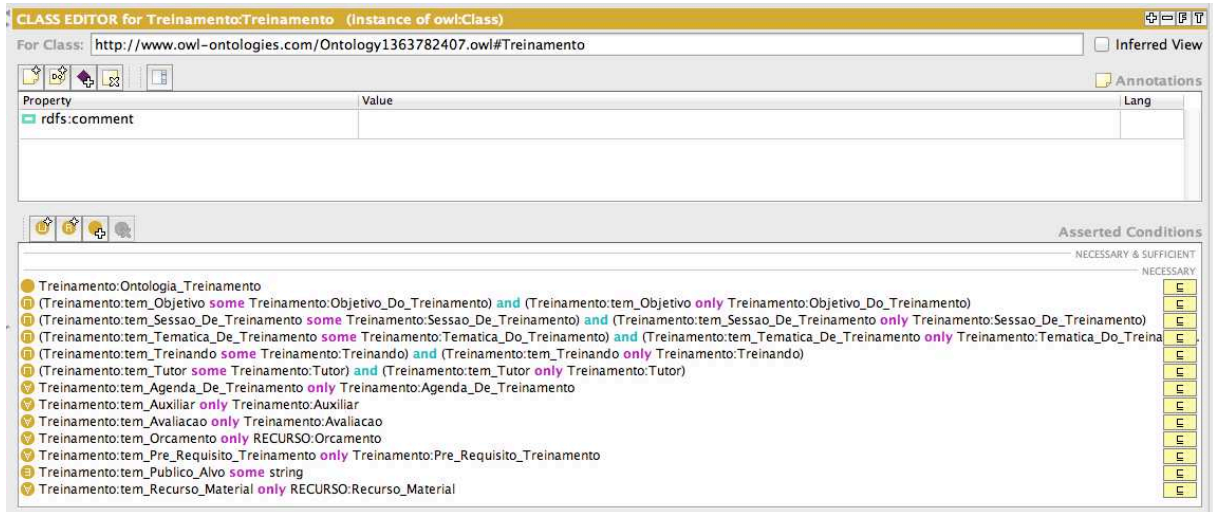


Figura 17: Descrição do conceito Treinamento no editor Protegé

Em particular, um treinamento simulado (método adotado em sessões de treinamento) é constituído por cenários de treinamento. Participantes de uma sessão de treinamento simulado irão representar personagens no cenário de treinamento. A ontologia *Cenario_De_Treinamento* é abordada na seção 4.2.

Parte da ontologia Treinamento esta representada na Figura 18 a seguir. Conceitos em cinza (*Cenario_De_Treinamento* e *Participante_Do_Cenario*) são definidos na ontologia *Cenario_De_Treinamento*, apresentada na seção 4.2 a seguir.

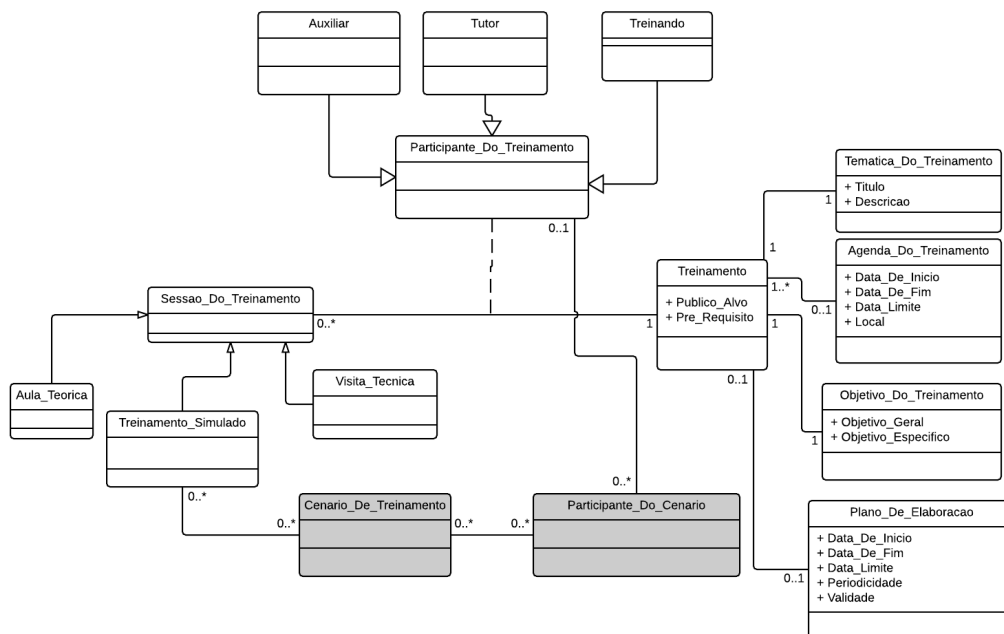


Figura 18: Visão Geral da ontologia Treinamento, representando seus principais conceitos e relações

4.2. ONTOLOGIA CENÁRIO

A ontologia *Cenário* é constituída por conceitos que descrevem os dados gerais de um cenário de treinamento com operadores de sistemas elétricos e seus elementos. Por outro lado, esses mesmos conceitos são usados na descrição de um cenário de erro humano, ocorrido durante a operação do sistema elétrico.

Conceitos específicos do domínio do cenário de treinamento são definidos na ontologia *Cenario_De_Treinamento*, assim como conceitos particulares do cenário de erro são definidos na ontologia *Cenario_De_Erro*.

Parte da ontologia *Cenario* está representada na Figura 19 a seguir. De acordo com essa estrutura, um cenário possui os seguintes atributos: título; os objetivos; subestação; configuração da instalação; descrição das tarefas; documentos necessários; participantes; e o tempo estimado para execução do cenário.

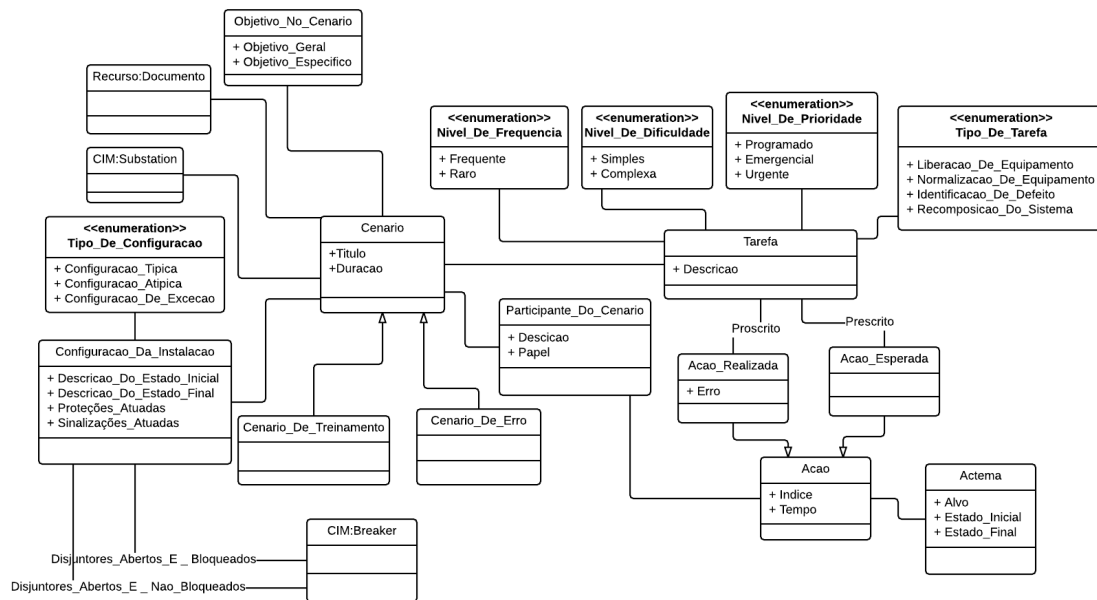


Figura 19: Visão Geral da ontologia *Cenario*, representando seus principais conceitos e relações.

Detalhamentos destes dados são apresentados nas tabelas a seguir. Por exemplo, os dados que compõem a configuração da instalação para o cenário é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Dados relacionados a Configuração da instalação

Configuração da instalação	
	<p>Tipo de configuração:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Configuração típica ○ Configuração atípica ○ Configuração de exceção
	<p>Descrição do cenário:</p> <p style="text-align: center;">Descrição do estado inicial da instalação</p> <p><Descrição textual da configuração inicial do ambiente antes da execução do cenário></p> <hr/> <p style="text-align: center;">Descrição do estado final da instalação</p> <p><Descrição textual da configuração esperada do ambiente após a execução do cenário. No caso de um cenário de treinamento, como estará a planta caso os eventos programados sejam disparados, e caso o treinando realize as ações esperadas na sequencia correta e no momento adequado></p>
	<p>Proteções Atuadas</p> <p><Lista de proteções atuadas></p>
	<p>Sinalizações Atuadas:</p> <p>Equipamento <equipamento associado a sinalização></p> <hr/> <p>Mensagem <mensagem que representa a sinalização atuada></p> <hr/> <p>Local <Local da sinalização></p>
	<p>Disjuntores</p> <p>Disjuntores Abertos e Bloqueados</p> <p><Lista de disjuntores abertos e bloqueados, discordando de uma configuração típica></p> <hr/> <p>Disjuntores abertos e não bloqueados</p> <p><Lista de disjuntores abertos e não bloqueados, discordando de uma configuração típica></p>

Cada tarefa planejada para o cenário de treinamento pode ser descrita e definida com base nos termos apresentados na Tabela 7, de acordo com o nível de dificuldade (simples ou complexa), frequência (frequente ou rara) e prioridade (programada ou emergencial).

Tabela 7: Dados relacionados a tarefa de um cenário

Tarefa (Descrição de cada tarefa que deve ser realizada pelo treinando durante a execução do cenário)	
Descrição: <Descrição textual da sequencia de passos para realização da tarefa>	
Tipo da tarefa	
<input type="checkbox"/> Identificação de defeito	<input type="checkbox"/> Liberação de equipamento
<input type="checkbox"/> Normalização de equipamento	<input type="checkbox"/> Recomposição de sistema
<input type="checkbox"/> Outro	
Nível de dificuldade	
<input type="checkbox"/> Simples	<input type="checkbox"/> Complexa
Nível de frequência	
<input type="checkbox"/> Frequente	<input type="checkbox"/> Rara
Nível de prioridade	
<input type="checkbox"/> Programada	<input type="checkbox"/> Emergencial

Além disso, cada tarefa possui um conjunto de ações esperadas (prescrito) e um conjunto de ações realizadas (proscrito). E cada ação realizada pode estar correta ou errada.

Neste trabalho, as ações são por um índice (determina a sequencia de ações para uma tarefa), um executor (participante do cenário), a hora de execução (esperada ou realizada), e por um actema.

Neste trabalho, os actemas são itens extraídos por Guerrero (2006) de relatórios de falha humana e roteiros de manobra (tarefas relacionadas a operação da planta), elaborados no contexto da empresa Chesf. Cada actema descreve uma mudança de estado de um equipamento, objeto de interação (IHM) ou participante no contexto do cenário descrito. Na Figura 20 é apresentada a lista dos actemas considerados.

- ▼ ● Cenario:Actema
 - Cenario:Abrir
 - Cenario:Acionar
 - Cenario:Acoplar_Barras
 - Cenario:Ajustar_tap
 - Cenario:Atender_Solicitacao
 - Cenario:Ativar
 - Cenario:Autorizar
 - Cenario:Bloquear
 - Cenario:Comunicar-se
 - Cenario:Comutar_Chave
 - Cenario:Confirmar
 - Cenario:Consultar_Documento
 - Cenario:Contatar
 - Cenario:Desacoplar_Barras
 - Cenario:Desativar
 - Cenario:Desbloquear
 - Cenario:Desenergizar
 - Cenario:Desligar
 - Cenario:Disponibilizar_Equipamento
 - Cenario:Energizar
 - Cenario:Identificar_Falha
 - Cenario:Fechar
 - Cenario:Informar
 - Cenario:Iniciar_Manobra
 - Cenario:Ligar
 - Cenario:Ordenar
 - Cenario:Orientar
 - Cenario:Realizar_Manutencao
 - Cenario:Realizar_Testes
 - Cenario:Resetar
 - Cenario:Sinalizar
 - Cenario:Solicitar_Ajuste_De_Tape
 - Cenario:Solicitar_Autorizacao

Figura 20: Lista de actemas que representam ações realizadas durante a operação de sistemas elétricos

4.2.1 ONTOLOGIA CENÁRIO DE TREINAMENTO

Na ontologia *Cenario_De_Treinamento*, são definidos conceitos específicos do domínio. Por outro lado, conforme mencionado anteriormente, esta ontologia foi integrada a ontologia *Cenario*, cujos elementos completam a definição de um cenário de treinamento.

Conforme ilustrado na Figura 19, a classe *Cenario_De_Treinamento* é subclasse de *Cenario*. Assim, todos atributos e relações de *Cenario* se aplicam a *Cenario_De_Treinamento*. Neste trabalho, propõe-se uma estrutura genérica para um cenário de treinamento, cujos componentes são apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Estrutura genérica de um cenário de treinamento

Cenário de treinamento	Descrição Geral	Temática do cenário	Título do cenário	
			Descrição do cenário	Estado inicial da planta
				Estado final da planta
		Pré-requisitos		
		Objetivo	Objetivo geral	
			Objetivos específicos	
		Tarefa	Descrição da tarefa	
			Tipo da tarefa	
			Nível de dificuldade	
			Nível de prioridade	
			Nível de frequência	
			Prescrito	
			Proscrito	
	Roteiro de preparação			
	Tempo previsto para execução			
	Documentos de apoio			
	Elementos do cenário	Configuração da planta	Configuração padrão de referencia	
			Disjuntores aberto e não bloqueados	
			Disjuntores aberto e bloqueados	
			Proteções atuadas	
Sinalizações atuadas				
Participantes do cenário (operator, engineer, etc.)				
Eventos programados		Eventos temporais		
	Eventos condicionais			

Os dados desta estrutura são herdados da classe *Cenario*, com exceção dos pré-requisitos e dos eventos programados. Os pré-requisitos definem as condições necessárias para que um treinando possa executar o cenário de treinamento. E os eventos programados são ocorrências no sistema elétrico definidas pelo tutor para execução durante a simulação. Por exemplo, a abertura ou fechamento de um disjuntor, o bloqueio de um equipamento, alterações de carga e outras.

Os tipos de eventos programados são apresentados na Tabela 9 e cada um deles define a ação que é realizada. Esse são os mesmos tipos de eventos programados encontrados no simulador SAGE/SIMULOP (Oliveira *et. al.*, 2005).

Tabela 9: Tipos de eventos programados

Código	Nome	Descrição
BAI	<i>Balancing Area Isolate</i>	Gera uma ilha no sistema, balanceando a mesma
BKC	<i>Circuit Breaker Close</i>	Fecha o disjuntor
BKD	<i>Circuit Breaker Disable</i>	Desabilita o comando do disjuntor
BKE	<i>Circuit Breaker Enable</i>	Habilita o comando do disjuntor
BKT	<i>Circuit Breaker Trip</i>	Abre o disjuntor
CUE	<i>Instructor Cue</i>	Envia mensagem ao treinando/tutor
GOUT	<i>Generator MW Output</i>	Modifica geração de uma unidade geradora
GOVB	<i>Governor Signal Blocked</i>	Bloqueio de comando para o gerador
GOVR	<i>Governor Signal Restore</i>	Retira o bloqueio do comando do gerador
GUDC	<i>Generator Max Operating Limit</i>	Máxima geração da máquina
GUNR	<i>Generator Non Response to AGC</i>	Gerador não responde ao CAG (Controle Automático de Geração)
GUR	<i>Generator Response to AGC</i>	Gerador responde ao CAG
LDD	<i>Load Disable</i>	Desabilita a carga de um alimentador
LDE	<i>Load Enable</i>	Habilita a carga de um alimentador
LDS	<i>Load MW Spike</i>	Modifica a potência ativa do alimentador

LDQ	<i>Load MVAR Spike</i>	Modifica a potência reativa do alimentador
LDZ	<i>Zone Load Step</i>	Coloca um degrau de carga de uma determinada zona
LDZS	<i>Zone Load Spike</i>	Modifica a carga de uma determinada zona
NISC	<i>Change Interchange Schedule</i>	Modifica o intercâmbio programado
PAUS	<i>Pause Simulation</i>	Pausa a simulação
PXA	<i>Replace External Analog Point</i>	Faz a varredura de um ponto analógico
PXD	<i>Replace External Digital Point</i>	Faz a varredura de um ponto digital
RLYD	<i>Disable Relay</i>	Desabilita um relé
RLYE	<i>Enable Relay</i>	Habilita um relé
RTL	<i>RTU Loss</i>	Causa a perda de uma remota
RTR	<i>RTU Restore</i>	Restaura uma remota
STOP	<i>Stop Simulation</i>	Para a simulação
VRGU	<i>Change Unit Regulating Voltage</i>	Modifica o status do regulador de tensão
VRMN	<i>Change LTC Regulating Voltage (min)</i>	Modifica o valor de tensão mínima do regulador
VRMX	<i>Change LTC Regulating Voltage (max)</i>	Modifica o valor de tensão máxima do regulador
TPD	<i>Disable LTC</i>	Desabilita o regulador de tensão
TPE	<i>Enable LTC</i>	Habilita o regulador de tensão
TPHI	<i>Tap High Side Change</i>	Eleva o tap do transformador ao valor solicitado
TPLO	<i>Tap Low Side Change</i>	Diminui o tap do transformador ao valor solicitado

Cada um dos eventos programados possui os atributos definidos na Tabela 10.

Tabela 10: Dados relacionados aos eventos programados

Evento Programado	
	<p>Subestação:</p> <p><Identificação da subestação onde o evento deve ocorrer></p>
	<p>Dispositivo ou equipamento alvo da ação:</p> <p>< Identificação do dispositivo ou do equipamento sobre o qual o evento é realizado></p>
	<p>Tipo de disparo:</p> <p><Identificação do tipo de disparo do evento programado></p>
	<p>Valor:</p> <p><Atributo utilizado para alterar o valor de alguma grandeza ></p>

Entre os atributos do evento programado está o tipo de disparo.

O tipo de disparo determina se o evento programado é temporal ou condicional.

Definidos a seguir:

- Disparo Condicional – O evento é disparado sempre que uma determinada condição torna-se verdadeira. O evento pode ocorrer apenas uma vez, ou sempre que a condição torna-se verdade.
- Disparo Temporizado – O disparo do evento ocorre no tempo determinado.
 - Disparo com tempo absoluto – o tempo definido para o disparo do evento é baseado no tempo no relógio do simulador.
 - Disparo com tempo relativo – o tempo definido para o disparo do evento é relacionado ao início da simulação. Um determinado evento pode ser definido para ocorrer cinco minutos após o início da simulação, por exemplo.

Conforme a estrutura geral proposta para um cenário de treinamento, depois de definir os dados gerais do cenário de treinamento, é necessário especificar seus elementos constituintes: Ambiente virtual onde o cenário será simulado, personagens participantes, objetos de interação (IHM), a configuração da planta e os eventos.

O ambiente do cenário de treinamento possui os dados apresentados na Tabela 11. São definidos os componentes da planta e da IHM que fazem parte do cenário de treinamento. No entanto, esses componentes são especificados nas ontologias da planta e da IHM, abordadas nas seções seguintes. Do mesmo modo, é definido o modelo geométrico 3D que representa o ambiente do cenário. Esse modelo é especificado na ontologia Modelo 3D, abordada na seção 4.5.

Tabela 11: Dados relacionados ao ambiente do cenário de treinamento

Ambiente Do Cenário	
	<p>Nome:</p> <p><Identificação do ambiente representado pelo modelo></p>
	<p>Componentes da planta :</p> <p>< Identificação da configuração do sistema elétrico na qual a simulação se baseia. A configuração do sistema elétrico é definida na ontologia da Planta></p>
	<p>Componentes da IHM:</p> <p><Identificação dos dispositivos de interação que compõem a IHM no ambiente do cenário. Esses dispositivos são definidos na ontologia da IHM de subestações elétricas></p>
	<p>Modelo Geométrico 3D:</p> <p><Identificação do modelo geométrico 3D que representa o ambiente virtual. Esse modelo é definido na ontologia Modelo 3D></p>

Cada personagem do cenário é atribuído a um participante do treinamento, conforme descrito na seção anterior. Em uma simulação 3D, os personagens do cenário de treinamento também possuem um modelo 3D (Avatar) que irá representa-los no ambiente virtual tridimensional.

4.2.2 ONTOLOGIA CENÁRIO DE ERRO

Essa ontologia foi desenvolvida no LIHM com o objetivo de descrever cenários de acidentes causados pelo erro humano durante a operação de sistemas elétricos. Os termos e relacionamentos presentes na ontologia foram extraídos de um corpus de relatórios de falha humana fornecidos pela CHESF.

Nas empresas do setor elétrico, equipes responsáveis pelo treinamento de operadores costumam recorrer ao histórico de acidentes durante a fase de concepção dos cenários de treinamento. O objetivo é treinar os operadores em situações onde houve erro humano para evitar que o erro se repita e, principalmente, evitar suas consequências.

Neste trabalho, conforme já mencionado, buscou-se identificar elementos que fazem parte do dois domínios: cenário de erro e cenário de treinamento. Assim, elementos usados para descrever um cenário de erro podem ser reutilizados para compor um cenário de treinamento, reduzindo o esforço do tutor.

No diagrama de classes, representado na Figura **21**, é apresentado parte dos conceitos desta ontologia e suas relações.

Conforme pode visualizado no diagrama, um cenário de erro possui um ou mais erros. Para apoiar a classificação do erro considera-se um conjunto de categorias e subcategorias, elaborado de forma complementar pelos trabalhos de Guerreiro [2006], Nascimento Neto (2009) e Scherer (2010), todos com base no Modelo proposto por Rasmussen (1981).

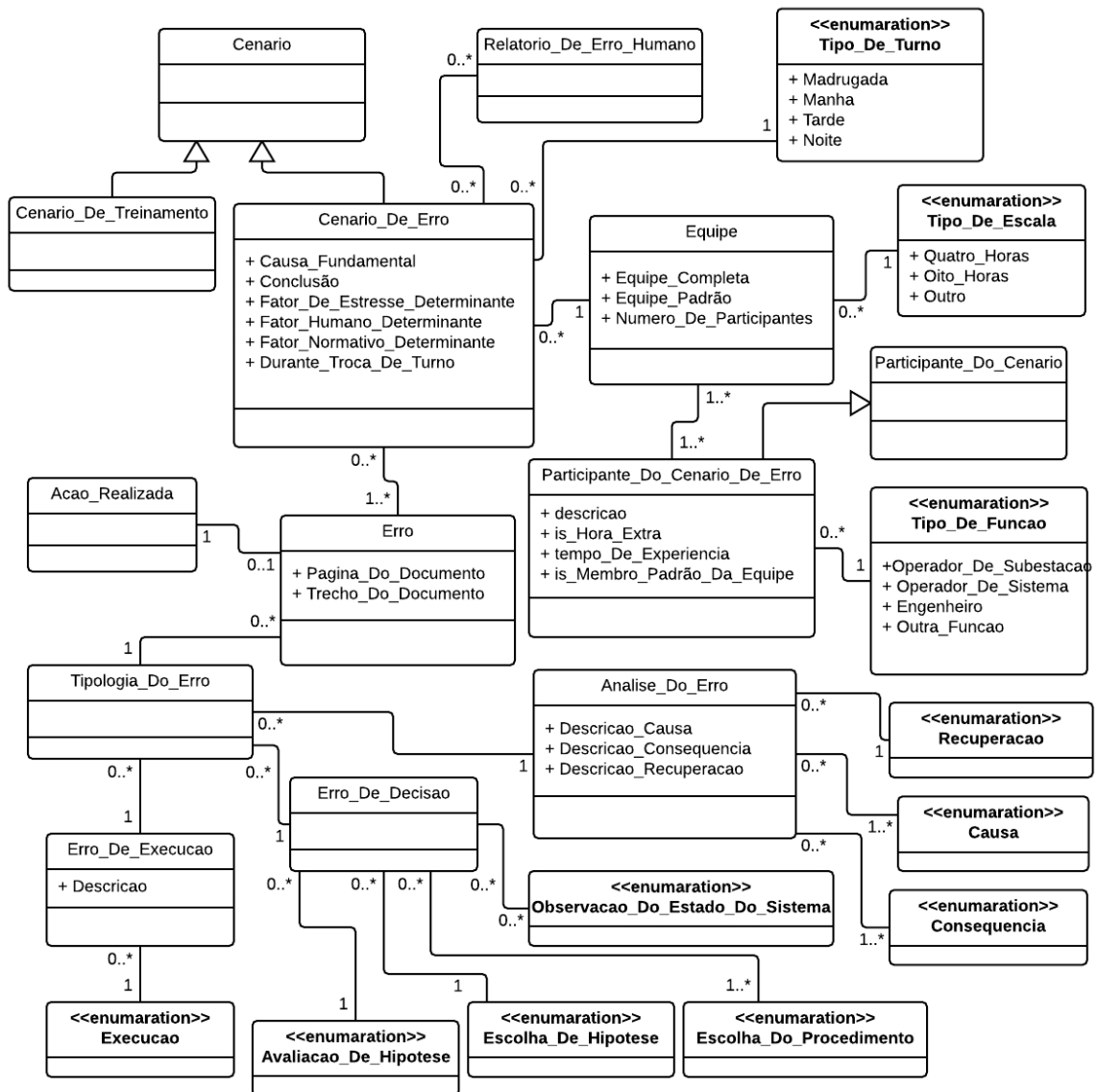


Figura 21: Visão geral da ontologia *Cenário_De_Erro*, representando seus principais conceitos e relações

A classificação proposta por Rasmussen contempla todas as fases do processo cognitivo realizado pelo operador, desde a observação do sistema, até a sua ação física de operação para alterar o estado do sistema, tornando o erro perceptível. O modelo considera, ainda, uma classificação sobre o impacto do erro, em termos de consequências e tempo de recuperação, além de identificar potenciais causas disparadoras do erro. Para esta última classe, as causas são direcionadas a características dos operadores, podendo ser associadas a fatores externos como falta de treinamento, ou internos, como cansaço ou desatenção.

É importante destacar que um erro pode ser classificado em diferentes categorias do modelo, por exemplo, a observação inapropriada do estado do sistema pode levar o operador à escolha de uma hipótese consistente com a observação do estado do sistema, porém insuficiente - as classes dos modelos estão relacionadas. Outra consideração importante, para uma mesma categoria do modelo, mais de uma opção de classificação pode ser atribuída. Por exemplo, a causa do erro pode ser decorrente do excesso de autoconfiança do operador, assim como da sua falta de treinamento. Na Tabela 12 é apresentado o conjunto de categorias e subcategorias do modelo de Rasmussen, incorporado a ontologia (Figura 19).

Tabela 12: Categorias e subcategories do modelo de Rasmussen

Categoria	Subcategoria
Observação do estado do sistema	<i>Excessiva, Falsa interpretação, Incorreta, Incompleta, Inapropriada, Ausente, Desnecessária, Correta</i>
Escolha de uma hipótese	<i>Inconsistente em relação à observação, Consistente, mas pouco provável, Consistente, mas muito custosa (onerosa), Funcionalmente não pertinente, Ausente, Consistente, mas insuficiente, Não necessária, Correta</i>
Avaliação de uma hipótese	<i>Incompleta, Aceitação de uma hipótese errada, Rejeição de uma hipótese certa, Ausente, Desnecessária (não necessária), Correta;</i>
Definição do objetivo	<i>Incompleto, Incorreto, Supérfluo, Ausente, Desnecessária (não necessária), Correto;</i>
Escolha do procedimento (manobra)	<i>Incompleto, Incorreto, Supérfluo, Ausente, Desnecessária (não necessária), Correto;</i>
Execução ações que compõem a manobra	<i>Ação omissa (omissão), Ação repetida (repetição), Acréscimo de uma operação (inclusão), Operação fora de sequência (sequencia), Intervenção em tempo não apropriado, Posição da operação incorreta, Execução incompleta, Ação sem relação ou inapropriada, Ação correta sobre o objeto errado, Ação errada sobre o objeto correto, Execução sem intenção</i>
Recuperação	<i>Muito tardia, Tardia, Imediata</i>
Consequências	<i>Não houve interrupção de carga, Houve interrupção de carga, Sobrecarga de (em) equipamento, Perdas e danos equipamentos, Danos pessoais;</i>
Causas	<i>Desatenção (auto-cofiança, descaso, simplicidade da manobra), Estresse (tempo, urgência, carga de trabalho), Problemas pessoais, Inexperiência, Imperícia,</i>

Distratores (telefone, terceiros), Falta de concentração por pressa, Falta de concentração por excesso de autoconfiança, Falta de concentração, Pressa, Confusão, Pressão, Ansiedade, Improvisação, Excesso de autoconfiança, Falta de capacitação técnica, Cansaço, Excesso de concentração.

4.3. ONTOLOGIA PLANTA (CIM)

Essa ontologia se apoia no modelo semântico de dados definido no padrão IEC-61970-301 que descreve os componentes de um sistema elétrico de potência e os relacionamentos entre cada componente. O padrão IEC 61968-11 estende esse modelo para cobrir outros aspectos em um software para o gerenciamento de energia.

Esses dois padrões, 61970-301 e 61968-11, são conhecidos coletivamente como CIM – Common Information Model.

O padrão 61970-501, por sua vez, especifica as regras de mapeamento do Modelo CIM para o formato de arquivos RDF/XML, um modelo padrão para a troca de dados na Web.

As classes do padrão CIM estão agrupadas em pacotes, de modo a tornar mais fácil o gerenciamento e manutenção dessas classes. A Figura 22 representa as relações de dependência entre os pacotes do padrão CIM. A linha tracejada indica uma relação de dependência, com a seta direcionada para o pacote que possui outro pacote como dependente.

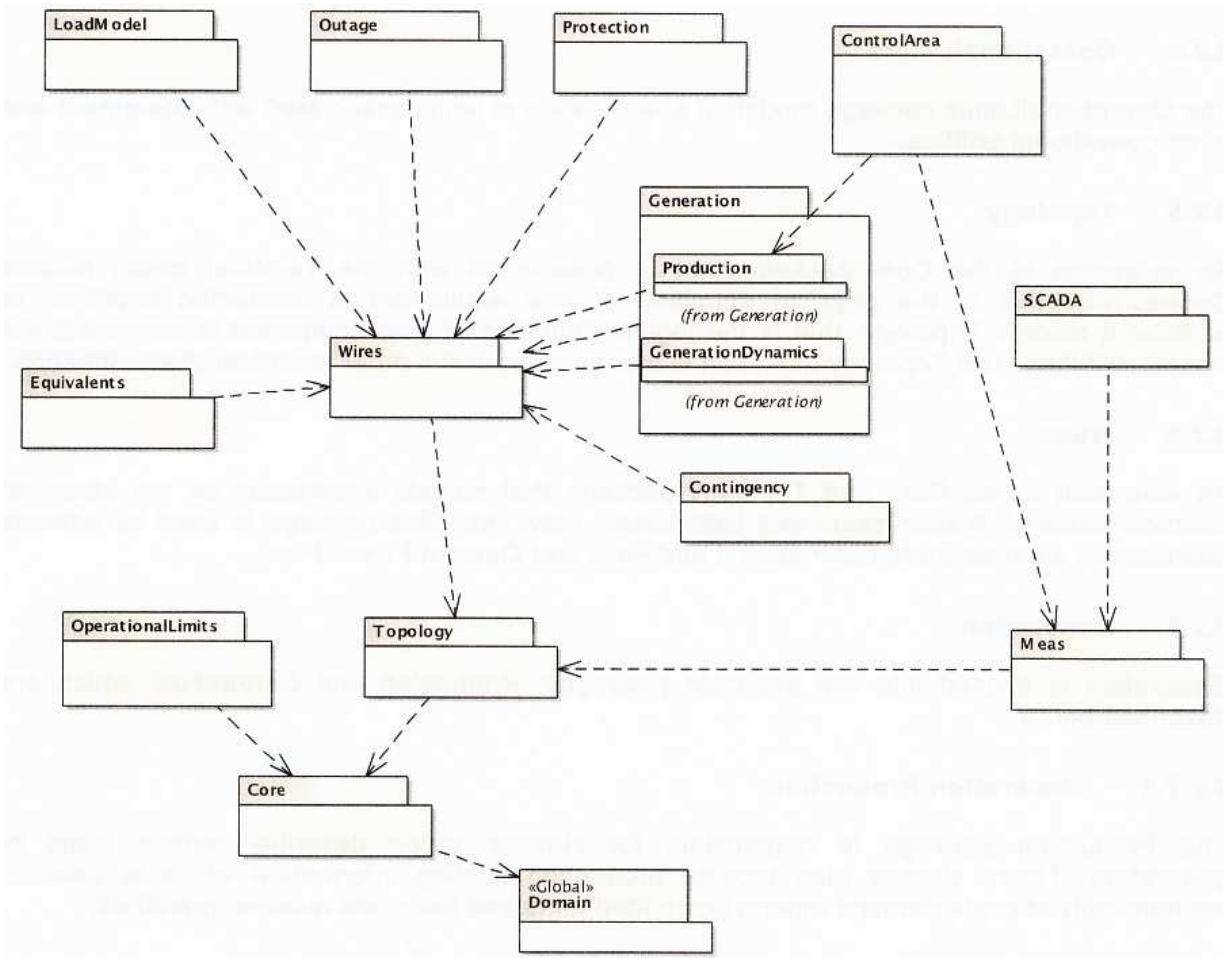


Figura 22: Diagrama de pacotes do padrão CIM (Fonte IEC 61970-301).

A seguir resume-se o conteúdo desses pacotes.

- Domain – pacote com a definição de tipos de dados, incluindo unidades de medidas e valores permitidos. Esses tipos de dados são usados como atributos (propriedades) de classes em outros pacotes do modelo.
- Core – pacote com os conceitos (classes) básicos do modelo, tais como PowerSystemResource, usado para descrever qualquer recurso dentro de um sistema de potência, desde um simples equipamento até barramentos (Busbar) e subestações (Substation).

- Wires – pacote constituído por classes de componentes que são fisicamente conectados às redes de transmissão e distribuição, tais como linhas, disjuntores, chaves seccionadoras, fusíveis, transformadores e outros.
- Topology – fornece conceitos que permitem definir como os equipamentos de planta (sistema de potência) estão conectados.
- Measurement – contem as entidades que descrevem os dados dinâmicos trocados entre aplicações, tais como os utilizados no calculo de fluxo de potência.
- Outage – contem entidades com informações de configurações de rede. Podem ser usadas para definir mudanças de configuração de rede em tempos específicos durante uma simulação.
- Protection – contem entidades que definem as configurações e parâmetros de equipamentos de proteção.
- LoadModel – contem entidades que definem dados associados às unidades consumidoras e às cargas do sistema.
- Generation – é constituído por dois sub-pacotes, Production e GenerationDynamics. Possuem classes que definem dados associados a unidades de geração de energia.

Para exemplificar como usar o padrão IEC 61970-301 CIM para descrever a planta de um sistema elétrico, considere o diagrama de classes representado na Figura 23 em que é ilustrada hierarquia de classes de equipamentos.

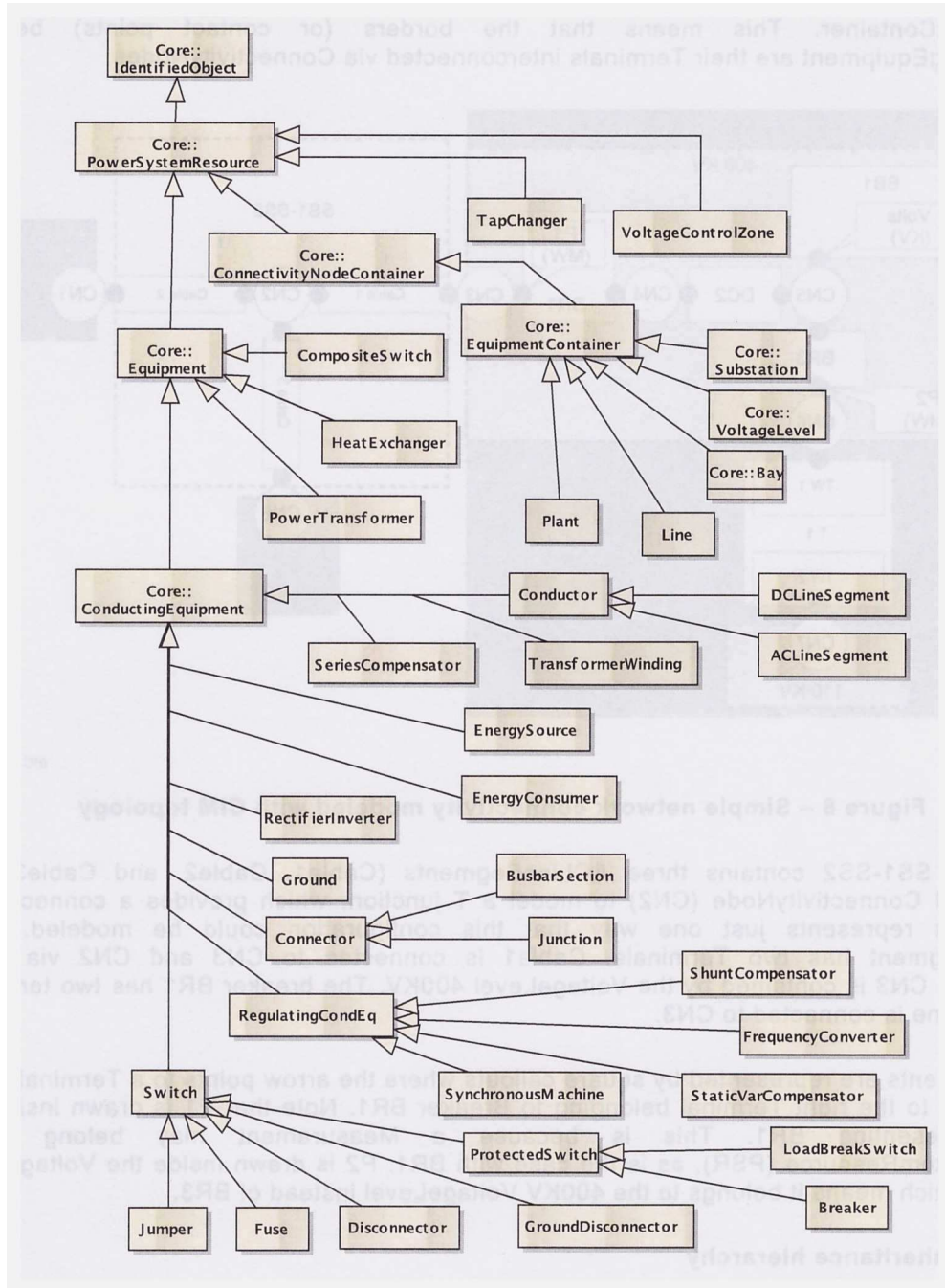


Figura 23: Hierarquia de classes de equipamentos (Fonte: IEC 61970-301, p. 30)

A classe *IdentifiedObject* é a raiz da hierarquia de classes representada nesta figura e a super-classe da maioria das classes do CIM. A classe *PowerSystemResource* descreve qualquer recurso dentro de um sistema de potência.

Assim, de acordo com essa hierarquia, um disjuntor (Breaker), por exemplo, é um recurso do sistema de potência, um tipo de equipamento, um tipo de equipamento de condução e um tipo de chave. Sendo um tipo de chave, um disjuntor (Breaker) possui o atributo booleano `normalOpen`, herdado da classe *Switch*, que representa o estado da chave, aberta ou fechada.

Outros tipos de chaves como, fusíveis (Fuse) e chaves seccionadoras (LoadBreakSwitch), também possuem este atributo herdado da *Switch*. E caso um novo tipo de chave seja definido como herança da classe *Switch*, também terá o mesmo atributo. Por isso, a estrutura de classes torna o modelo flexível e mais fácil de ser mantido que tratar cada componente no CIM como uma entidade independente.

O padrão CIM usa os conceitos de “Terminal” e “Nó de Conectividade” para definir a ligação entre equipamentos de condução dentro de um sistema elétrico. As relações entre as classes *ConductingEquipment*, *Terminal* e *ConnectivityNode* desse modelo estão representadas na Figura 24.

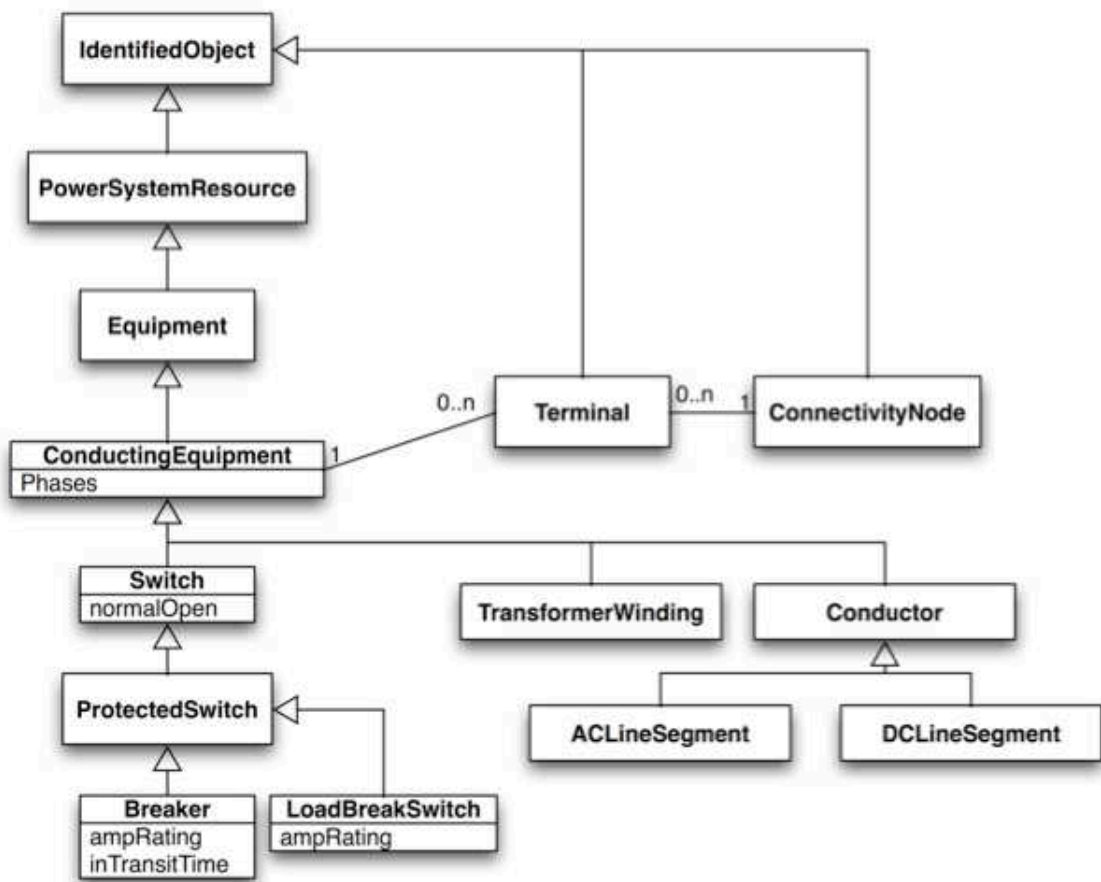


Figura 24: Diagrama de classes representando as relações entre *Terminal*, *ConnectivityNode* e *ConductionEquipament* (Fonte: adaptado de McMorran, 2007)

Qualquer tipo de equipamento de condução (*ConductingEquipament*) – por exemplo, um disjuntor, uma chave seccionadora, uma linha de transmissão ou um transformador – de possui zero ou vários terminais de ligação, e cada terminal está associado a um nó de condutividade, conforme representado no diagrama de classes da Figura 24. Como exemplo, na Figura 25 é representado parte um circuito em que a conexão entre esses elementos é ilustrado.

- Quais são os tipos de dispositivos de manobra presentes em um painel de controle?
- Quais estados um dispositivo pode assumir?
- Qual objeto virtual (Modelo 3D) é associado à de um dispositivo particular?
- Quais equipamentos da planta podem ser comandados a partir de dispositivos nos painéis de controle?
- Quais os dispositivos que um operador deve comandar para realizar uma manobra específica?

A criação de uma ontologia requer a definição de conceitos associados ao domínio e seus relacionamentos. Esse levantamento foi apoiado por relatórios e roteiros de manobras do setor elétrico e por visitas técnicas a subestações da empresa CHESF, além de entrevistas com engenheiros e operadores do setor.

Foram consultados repositórios de ontologias disponíveis na web. No entanto, não foi encontrada uma ontologia que atendesse aos propósitos deste trabalho. Por outro lado, Guerrero (2006) propôs uma ontologia para cenários de acidentes causados pelo erro humano na operação de subestações de sistemas elétricos, a qual serviu de base para a ontologia aqui apresentada. Além deste, outros trabalhos desenvolvidos por pesquisadores do grupo também serviram de referência para este trabalho, a exemplo de (Nascimento Neto, 2010).

A partir dos conceitos definidos numa primeira etapa, foram definidas as classes da ontologia e estruturadas de forma hierárquica (taxonomia), identificando-se especializações (abordagem Top-Down) e generalizações (abordagem Bottom-up).

A Figura 26 ilustra o nível mais alto da hierarquia de classes. A superclasse owl:Thing está presente em toda ontologia descrita na linguagem owl e representa o conjunto que contém todos os indivíduos, uma vez que todas as subclasses derivam desta.

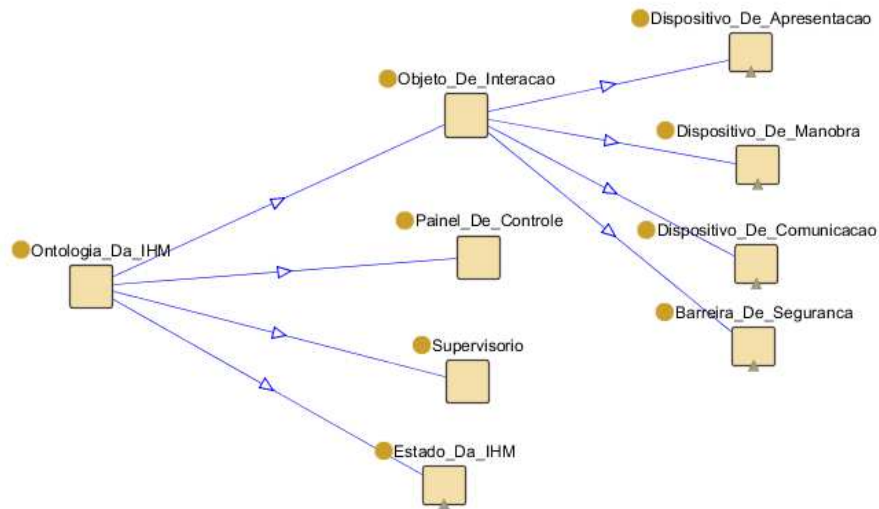


Figura 26: Nível mais alto da hierarquia de classes da ontologia

- **Objeto_De_Interacao:** define todos os elementos de comunicação (rádio e telefone), de manobra (chaves e botoeiras) e de apresentação de informações (mostradores, quadros de eventos, sinalizadores, etc) utilizados por operadores na realização de suas tarefas na operação;
- **Painel_De_Control:** define um painel que concentra objetos de interação, com os quais o operador pode monitorar e controlar remotamente equipamentos da subestação;
- **Supervisorio:** define uma estação de supervisão que executa um software supervisorio, no qual o operador pode monitorar e controlar remotamente equipamentos da subestação.
- **Estado_Da_IHM:** define os estados dos objetos da IHM, como dispositivos, painel de controle e outros objetos de interação.

Cada uma dessas classes possui um conjunto de subclasses nas quais os indivíduos da ontologia são categorizados. Por outro lado, a seguir são apresentadas as subclasses da

classe *Objeto_De_Interação*. Estas subclasses descrevem efetivamente os elementos da IHM de operação em subestações.

A Figura 27 representa a parte da taxonomia de dispositivos de interação, constituída por dispositivos de manobra, apresentação de informações e comunicação, e barreiras de segurança, que define elementos que limitam a interação direta com dispositivos da IHM para evitar acidentes e incidentes, como cadeados de proteções de chaves.

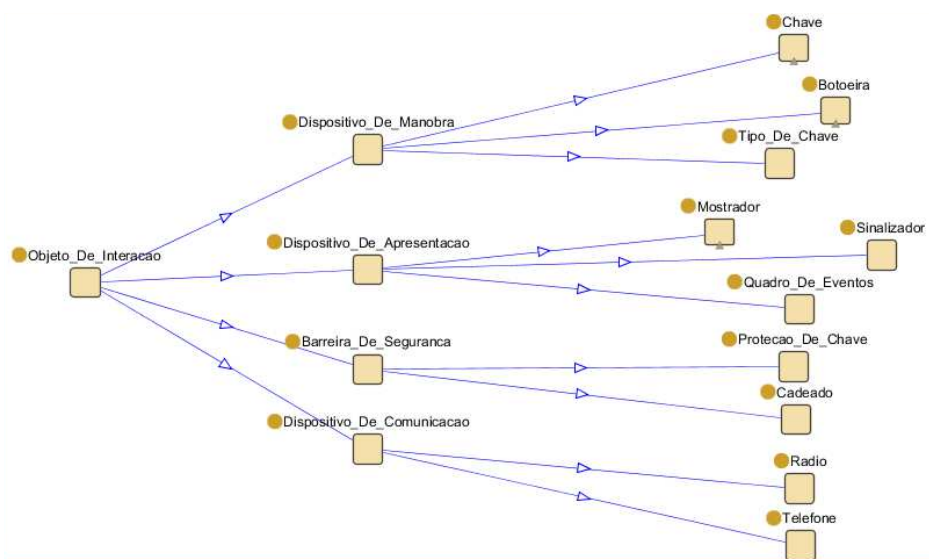


Figura 27: Taxonomia de dispositivos de interação

Analisando a Figura 27 verifica-se as subclasses de *Dispositivo_De_Manobra*, *Dispositivo_De_Apresentação*, *Dispositivos_De_Comunicacao* e *Barreira_De_Seguranca*. Por exemplo, *Chave*, *Botoeira* e *Tipo_De_Chave* são subclasses de *Dispositivo_De_Manobra*.

A classe *Chave* descreve as chaves de comando presentes nos painéis de controle da subestação, as quais recebem um nome específico. Este nome está associado à sua função. Enquanto que a classe *Tipo_De_Chave* agrupa os diferente tipos de chaves encontrados neste ambiente. Por exemplo, chave do tipo punho, chave giro-giro, chave giro-pressão-giro, chave de pressão, etc. A Figura 28 representa a taxonomia de *Chaves*.



Figura 28: taxonomia de Chaves

Com base nos termos apresentados, é possível descrever dos elementos de interação que constituem um painel de controle e o estado em que se encontram. Esses elementos (Objetos de interação e painéis de controle) podem ser associados aos equipamentos de uma subestação (descritos pelo modelo CIM) e a uma representação 3D (descritos pela ontologia Modelo 3D, abordada na seção seguinte). Para isso, são definidas as propriedades utilizadas para descrever as classes da ontologia e os relacionamentos existentes entre elas.

Por exemplo, a classe *Chave101* define o conjunto de chaves que está em um painel de controle e que comandam um Disjuntor (*Modelo_CIM:Beaker*). Estas chaves possuem os estados *Aberto*, *Fechado* ou *Em_Discordancia*, e podem ser do tipo *Punho*, *Giro-Giro* ou *Giro-Pressão-Giro*. De acordo com essas características, foram definidas as propriedades: *ChaveDe*, *comanda*, *tem_Estado* e *chave_Do_Tipo*.

Na Figura 29, essas propriedades são representadas por setas e estabelecem relações entre os indivíduos (representados por triângulos). Os indivíduos, por sua vez, estão agrupados em suas respectivas classes (representadas por círculos).

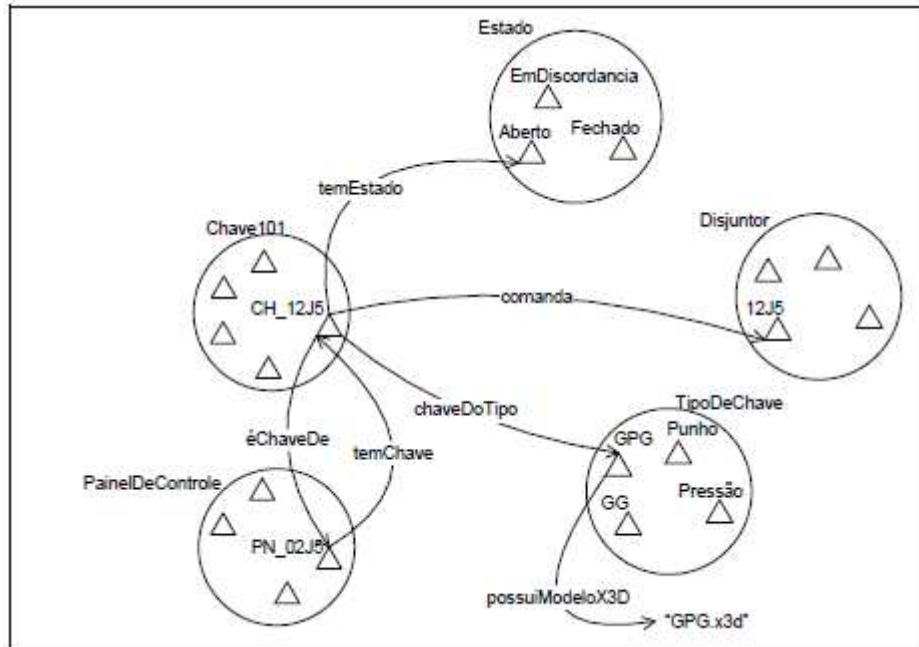


Figura 29: Representação de propriedades da classe *Chave101*

As propriedades citadas anteriormente são exemplos de **Propriedades de Objeto**, as quais relacionam duas instâncias de uma classe (ou indivíduos). Por outro lado, existem dois outros tipos de propriedades na linguagem OWL:

- **Propriedade de Tipos de Dado:** relaciona um indivíduo a um valor do *XML- Schema Datatype* (disponível em <http://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>) ou a um literal do *RDF-Resource Description Framework* (disponível em <http://www.w3.org/TR/rdf-primer/>).
- **Propriedade de anotação:** são usadas para adicionar metadados as classes, aos indivíduos ou propriedades de objeto.

Nessa ontologia, os três tipos de propriedades são usados, conforme é exemplificado na Figura 30 a seguir.

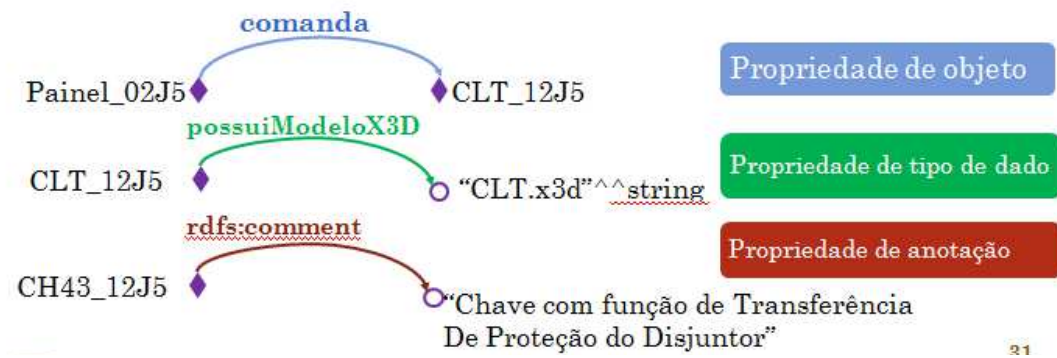


Figura 30: Tipos de propriedades OWL

As propriedades também podem ser caracterizadas como: funcional, inversa, transitiva e simétrica. Essa prática permite limitar o uso das propriedades e auxilia na identificação de erros eventuais.

As propriedades *ChaveDe* e *comanda*, por exemplo, foram definidas como propriedades funcionais. Através dessas propriedades, uma chave específica é associada a único painel (*ChaveDe*) e comanda um único equipamento.

Foram também definidos domínios e escopos para as propriedades. Por exemplo, a propriedade *comanda*, relaciona indivíduos da classe *DispositivoDeManobra* a indivíduos pertencentes à classe *Equipment*, do modelo CIM.

As restrições, também chamadas facetas, limitam o conjunto de valores possíveis das propriedades das classes. Assim, os indivíduos de uma classe devem satisfazer às condições estabelecidas pelo conjunto de restrições.

Na linguagem OWL, as restrições são classificadas em três categorias:

- **Restrições de Cardinalidade:** descrevem a classe dos indivíduos que têm, no mínimo, no máximo, ou exatamente um número específico de relacionamentos com outros indivíduos. Por exemplo, a classe *Chave101* tem a restrição *"ChaveDe exactly 1 PainelDeComando"* que estabelece que todos os indivíduos da classe *Chave101*

relaciona-se com exatamente um indivíduo da classe *PainelDeComando*, através da propriedade *ChaveDe*.

- **Restrições de quantificação:** essas restrições são constituídas pelo quantificador existencial (E), e descrevem a classe dos indivíduos que possui pelo menos um relacionamento com outros indivíduos, através de uma propriedade específica. Ou então, por quantificador universal (A), quando descreve a classe de indivíduos que se relacionam através de uma propriedade com apenas uma classe de outros indivíduos. Por exemplo, a classe *Chave101* possui a restrição “*comanda only (Disjuntor ou Religador)*”, que estabelece que instâncias dessa classe relacionam-se, através da propriedade *comanda*, apenas com instâncias das classes *Disjuntor* ou *Religador*.
- **Restrições de Valores:** descrevem os tipos de valores de uma dada propriedade para uma classe específica. Por exemplo, a classe *Painel_De_Contole* possui a restrição “*tem_Nome some string*”, que estabelece que um indivíduo dessa classe relaciona-se com um tipo de dado *string*, através da propriedade *tem_Nome*.

Foram criadas instâncias utilizando-se como estudo de caso a subestação “Campina Grande II” da empresa CHESF. Com as instâncias criadas, o motor de inferências Pallet, foi utilizado na classificação automática das classes e na verificação de consistência da ontologia.

A seguir, será exemplificada uma das aplicações da ontologia desenvolvida, qual seja, a descrição de painéis de controle, com base nos termos, relacionamentos e restrições previstos na ontologia, para apoiar a geração automática de uma réplica virtual tridimensional do painel.

O exemplo refere-se à aplicação da ontologia na construção de um painel “*PN04V2*” localizado na subestação “Campina Grande II”. Esse painel disponibiliza dispositivos de interação que comandam equipamentos associados a uma linha de transmissão “*04V2*”, a qual opera na tensão de 230 kV e faz a interligação entre duas subestações. A seguir, são

descritos os dispositivos de manobra encontrados nesse painel, o qual é ilustrado na (Figura 31a).

- Mostradores: mostradores de corrente por fase, tensão, potência ativa e reativa;
- Quadro anunciador de eventos: dispositivo no qual podem ser visualizadas informações de alarmes associados a um banco de capacitores. Esse dispositivo possui os elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas.
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo.
 - Chave QS: chave de pressão para o reset do som de alarme.
 - Chave QF: chave de pressão para o reset do piscar das lâmpadas do quadro.
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro.
- Chave 43: chave de duas posições Normal/Transferido com função de transferência de proteção do disjuntor.
- Chave Seletora de Corrente: chave de três posições com a qual se faz a associação do mostrador a uma das fases.
- Chave 101: Chave do tipo giro-pressão-giro utilizada no comando de um disjuntor “14V2”.
- Chave CLT: Chave utilizada para comutar a operação do painel entre o comando local e remoto (Telecomandado).

Na Figura 31b, é representado o modelo virtual 3D do painel “PN04V2”.

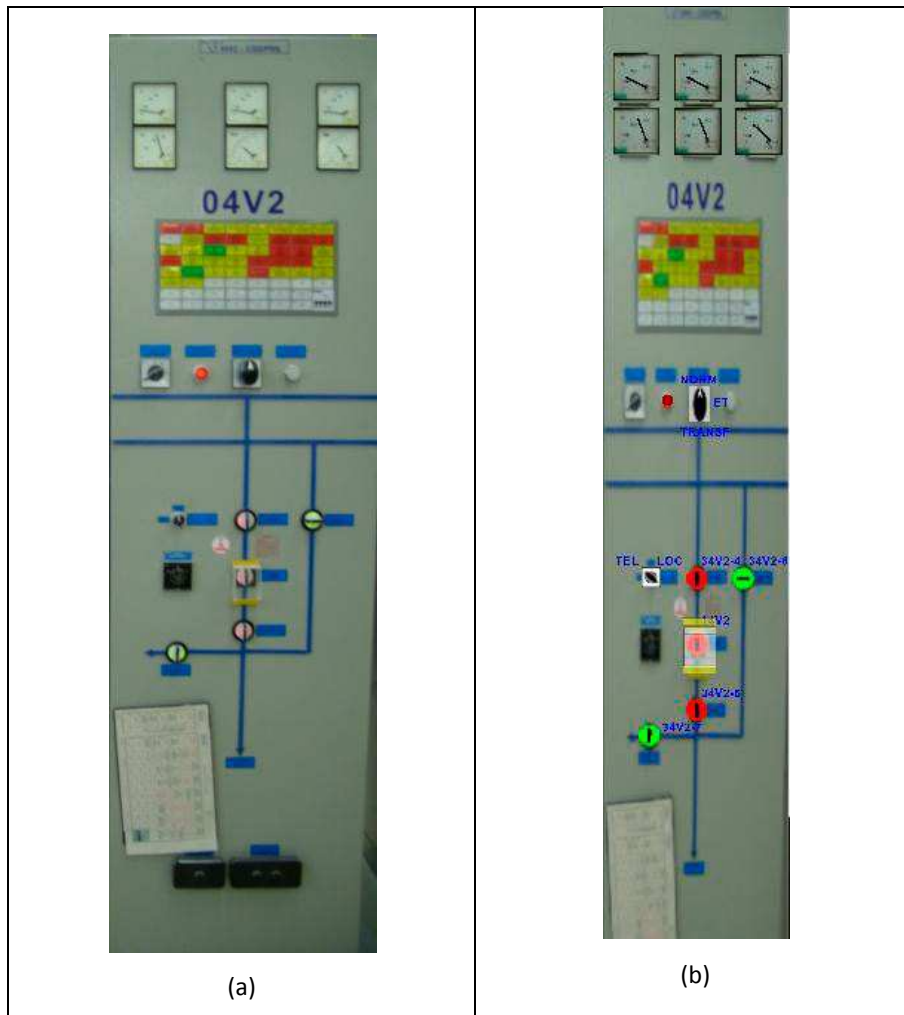


Figura 31: (a) Ilustração do painel 04V2 na subestação. (b) Representação do virtual do painel PN04V2.

Os dispositivos de interação, modelados para esse painel podem ser reutilizados na composição de outros painéis de uma subestação. Nesse sentido, a ontologia aqui apresentada, funciona como uma base de conhecimento, onde é possível descrever e consultar informações sobre quais dispositivos são encontrados em um painel e, quais os modelos 3D que os representam.

Na Figura 32 é ilustrada uma parte do modelo ontológico do painel “04V2”. Nele é possível identificar a associação, através de propriedades, entre dispositivos de manobra e os modelos correspondentes, descritos em X3D.

A geração automática do painel virtual pode ser obtida a partir de um módulo de software capaz de interpretar a informação armazenada nessa base de conhecimento, conforme é discutido no Capítulo 5.

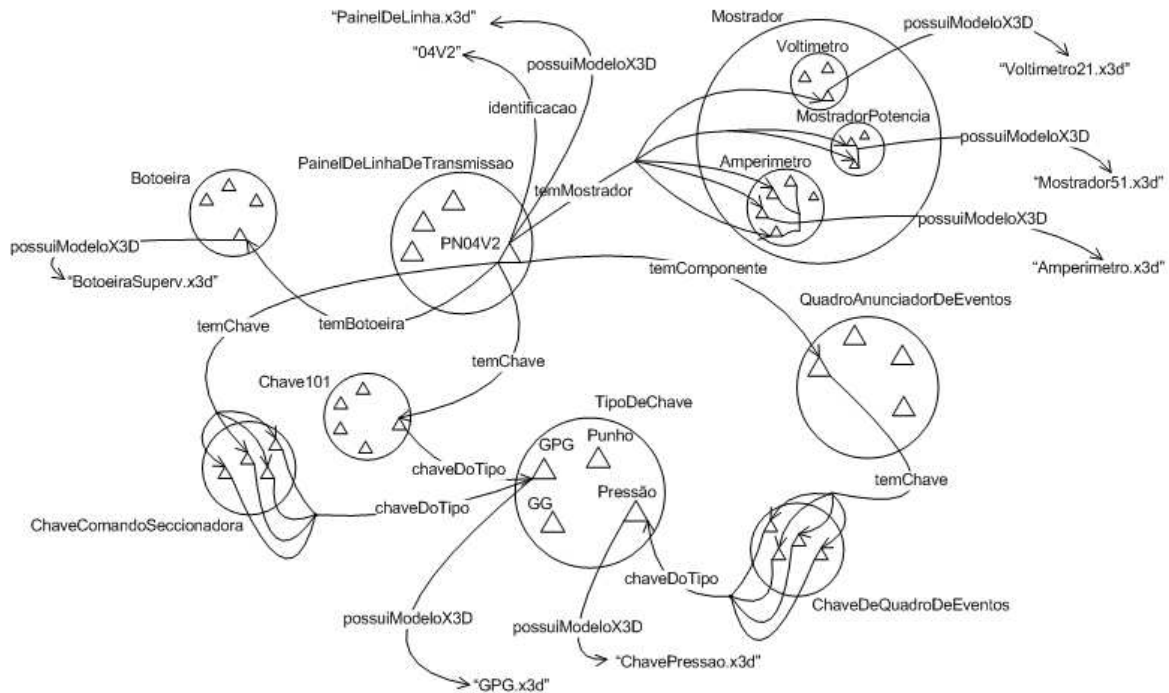


Figura 32: Modelo ontológico de um painel de controle

4.5. ONTOLOGIA MODELO 3D DO CENÁRIO DE TREINAMENTO

Nessa ontologia está definido um conjunto de conceitos e propriedades que descrevem parâmetros dos modelos 3D dos componentes do cenário virtual, tais como o ambiente da sala de controle, os personagens e a interface homem-máquina (IHM). Esses modelos 3D fazem parte de uma biblioteca de objetos desenvolvidos na linguagem X3D, os quais podem ser reutilizados na composição de diferentes cenários virtuais tridimensionais.

Dois grupos principais de conceitos são definidos. O primeiro grupo com as classes que especificam os parâmetros dos modelos geométricos dos objetos. O segundo grupo de conceitos animação desses objetos, ou seja comportamentos visualizados no ambiente

virtual como, por exemplo, uma chave que rotaciona, um dispositivo de sinalização que muda de cor (quando um equipamento da planta muda de estado) ou um quadro de eventos que dispara um som de alarme. A Figura 33 ilustra o nível mais alto da hierarquia de classes.



Figura 33. Hierarquia de classes da ontologia de modelos 3D para cenários virtuais de treinamento com operadores de subestações elétricas

Como exemplo, a Figura 34 ilustra os atributos da chave CH12J5, um indivíduo da classe ChaveGPG_ModeloA. Esses atributos são parâmetros do modelo geométrico da chave conforme as setas na figura indicam. A representação visual, resultante da execução desse modelo, também é apresentada na Figura 34.

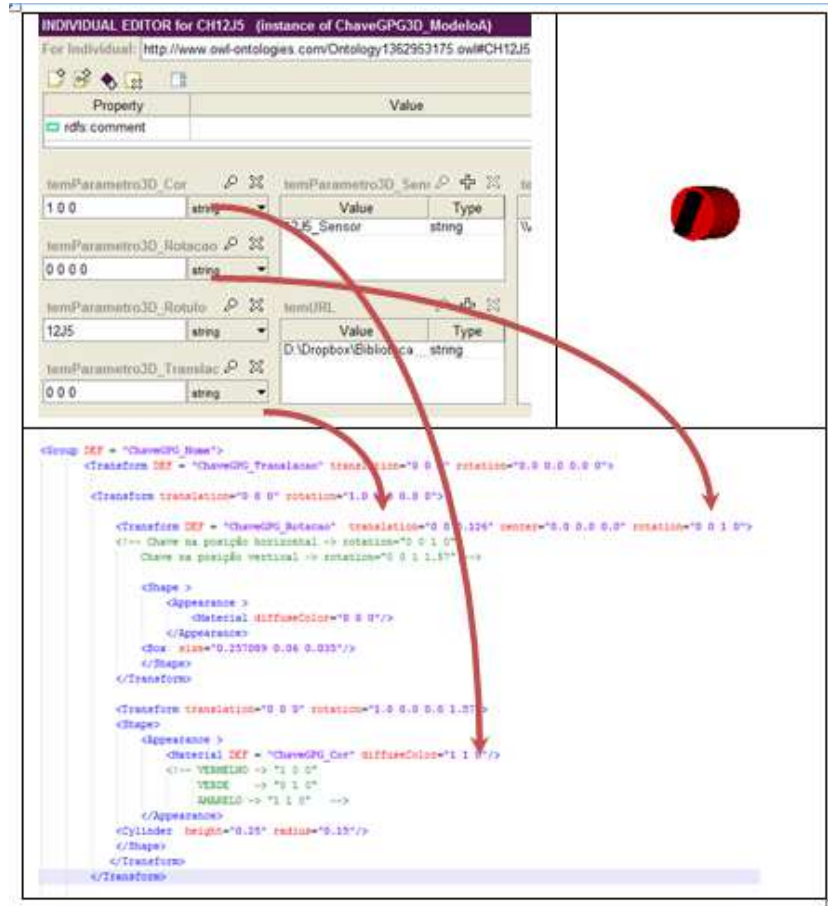


Figura 34. Mapeamento de atributos de um objeto com representação virtual 3D para o código em X3D

O outro grupo de conceitos dessa ontologia está relacionado às classes de comportamento dos objetos, que especificam os parâmetros de métodos responsáveis pela animação dos objetos no espaço tridimensional, tais como mudar de cor, piscar, rotacionar, transladar, mostrar valor e soar. Esses métodos foram desenvolvidos para o SimuLIHM e estão implementados na linguagem Java, conforme descrito no Capítulo 3.

Por exemplo, uma chave giro-pressão-giro, como a CH12J5, possui os comportamentos ‘rotacionar’.

No entanto, a chave é rotacionada quando um personagem do cenário atua sobre ela, ativando o sensor associado à chave (TouchSensor). Este sensor, por sua vez, ao ser ativado deve-se executar o método Java que rotaciona a chave.

4.6. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

O conjunto de ontologias abordadas neste capítulo apoia o planejamento de treinamentos a serem realizados com operadores de subestações elétricas, independente do ambiente de simulação onde vão ser executados.

Essas ontologias estão disponíveis para consulta e reuso aos interessados, a exemplo de estudantes de pós-graduação em engenharia elétrica, desenvolvedores de software o domínio mencionado e empresas do setor. A manutenção ocorrerá à medida que surgirem novas necessidades ou situações que demandem ajustes ou adições.

No próximo capítulo será apresentada a construção de cenários de treinamento para simuladores com base nas ontologias aqui apresentadas.

Capítulo 5 – Composição automática de cenários de treinamento em simuladores

Neste capítulo, apresenta-se um processo de construção de cenários de treinamento para simuladores, o qual se baseia na descrição dos cenários apoiados por termos, relacionamentos e restrições descritos em ontologias no domínio da aplicação. Este processo é instanciado para o ambiente SIMULOP, um simulador com representação da planta em ambiente 2D; e para o SimuLIHM, um simulador com representação em um ambiente virtual 3D.

5.1. PROCESSO DE COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS DE TREINAMENTO BASEADO EM ONTOLOGIAS

Conforme foi definido no Capítulo 2, um cenário de treinamento consiste na descrição do estado inicial do ambiente de simulação, na evolução das ações do treinamento (descrição da sequência de eventos que devem ocorrer no durante o treinamento) e dos recursos (humanos e materiais) que serão utilizados na evolução do cenário. Uma vez que os procedimentos operacionais são definidos em um conjunto de documentos.

A abordagem de desenvolvimento de cenários de treinamento 3D, proposta nesse trabalho, é baseada em uma ontologia no domínio do treinamento a ser realizado, a qual foi apresentada no capítulo anterior.

A montagem de diferentes cenários de treinamento se apoia no reuso de componentes de software (modelos visuais, componentes de animação e modelos de

simulação), os quais são configurados e combinados de acordo com a interpretação das informações armazenadas na ontologia.

As etapas do processo de desenvolvimento de cenários de treinamento estão representadas na Figura 35 e serão descritas a seguir.

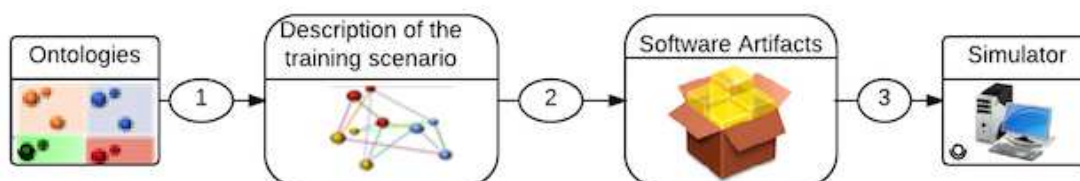


Figura 35: Representação da abordagem ontológica para o desenvolvimento de cenários de treinamento para simuladores

5.1.1.1. ETAPA 1: DESCREVER O CENÁRIO DE TREINAMENTO

O ponto de partida deste processo de desenvolvimento é a descrição do treinamento através da instanciação de ontologias de domínio. Com base nos termos, relacionamentos e regras definidos, descrevemos os elementos constituintes do cenário de treinamento.

Neste trabalho, foram definidas cinco ontologias diferentes para apoiar a modelagem de treinamentos com operadores de sistemas elétricos em um ambiente de simulação 3D, como o SimuLIHM. Essas ontologias foram abordadas no capítulo anterior, são elas: *Treinamento*, *CenárioDeTreinamento*, *Modelo3D*, *Planta* e *IHM*.

Por outro lado, a ontologia *Modelo3D* não é necessária quando trabalhamos com um simulador com ambiente de simulação 2D, como o Simulop. Neste caso, as demais ontologias são suficientes.

Na descrição de um novo cenário de treinamento, são definidos dados gerais e os elementos constituintes do cenário, conforme a estrutura apresentada na Tabela 8, no Capítulo 4.

Para o ambiente virtual 3D define-se, por exemplo, a quantidade, o tipo e a localização de painéis de controle presentes no ambiente, os objetos de interação que compõem esses painéis (chaves, botoeiras, mostradores, alarmes, etc) e suas características.

Na Figura 36 é representado parte das propriedades da chave CH_12J5, pertencente à classe Chave101. Essa chave pertence ao painel PN_02J5, possui o estado aberto, comanda o Disjuntor 12J5 e é uma chave do tipo GPG (Giro-Pressão-Giro), cujo modelo 3D é CH_12J5_3D.

As propriedades atribuídas a essa chave servirão como parâmetros de configuração dos modelos que irão representa-las virtualmente no cenário 3D.

Essas informações podem ser armazenadas a partir de um editor de ontologias, como o Protegé, que também permite o uso de mecanismos de inferência (reasoners) baseados em lógica descritiva para verificar a consistência da ontologia, computar automaticamente a hierarquia de classes e validar as informações armazenadas.

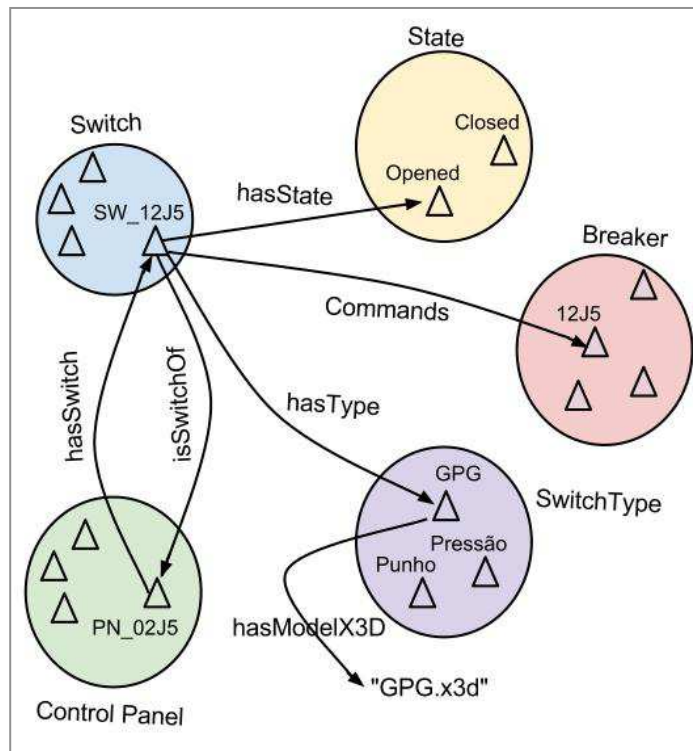


Figura 36: Representação de propriedades da chave CH_12J5

5.1.2. ETAPA 2: GERAR O CENÁRIO DE TREINAMENTO

A ontologia funciona como uma base de conhecimento, onde é possível descrever e consultar informações sobre quais elementos são encontrados no cenário de treinamento e quais os modelos que os representam.

O cenário é gerado com o apoio de um módulo de software capaz de interpretar a informação armazenada na base de conhecimento e automaticamente gerar os artefatos que representam o cenário de treinamento para um simulador específico.

A seguir, demonstramos a geração desses artefatos para o SimuLIHM e para o Simulop. Apesar do esforço demandado na codificação destes módulos, ele será feito apenas uma vez. Por outro lado, o cenário descrito na base de conhecimento é independente de plataforma e poderá ser executado por diferentes simuladores.

GERANDO ARTEFATOS PARA O SIMULIHM

Existem diversas APIs disponíveis que apoiam o desenvolvimento de aplicativos de software que utilizem ontologias representadas na linguagem OWL. Destaca-se aqui o framework Jena (2012), escrito na linguagem Java, de código aberto, gratuito, oferecendo recursos para edição de ontologias e realização de consultas com base em motores de inferência.

Conforme mencionado anteriormente, os modelos 3D estão descritos na linguagem X3D, que segue o padrão XML. Dessa forma, a instanciação dos modelos, com base nas informações obtidas do modelo ontológico, é possível através de uma API para edição de documentos no formato XML. Nesse trabalho, utilizamos API Java JDOM (2012), com a qual podemos alterar, criar e navegar pela estrutura do documento X3D.

Assim, o ambiente virtual pode ser criado automaticamente a partir da instanciação de modelos de uma biblioteca de objetos 3D, cujos parâmetros são especificados na ontologia Modelo 3D, discutida no capítulo anterior. Alguns dos parâmetros desses modelos

são consequências do estado dos dispositivos de interação e dos equipamentos que eles representam. Esses dispositivos de interação e equipamentos, por sua vez, são descritos na ontologia da IHM e pelo no padrão CIM, respectivamente.

Na Figura 37 é demonstrada a geração de um objeto 3D, representado no ambiente virtual. Este objeto representa uma chave de um painel de controle. Os atributos da chave SW14C1 são parâmetros do modelo geométrico da chave, conforme indicado na figura. O resultado é a representação visual da chave também apresentada na figura.

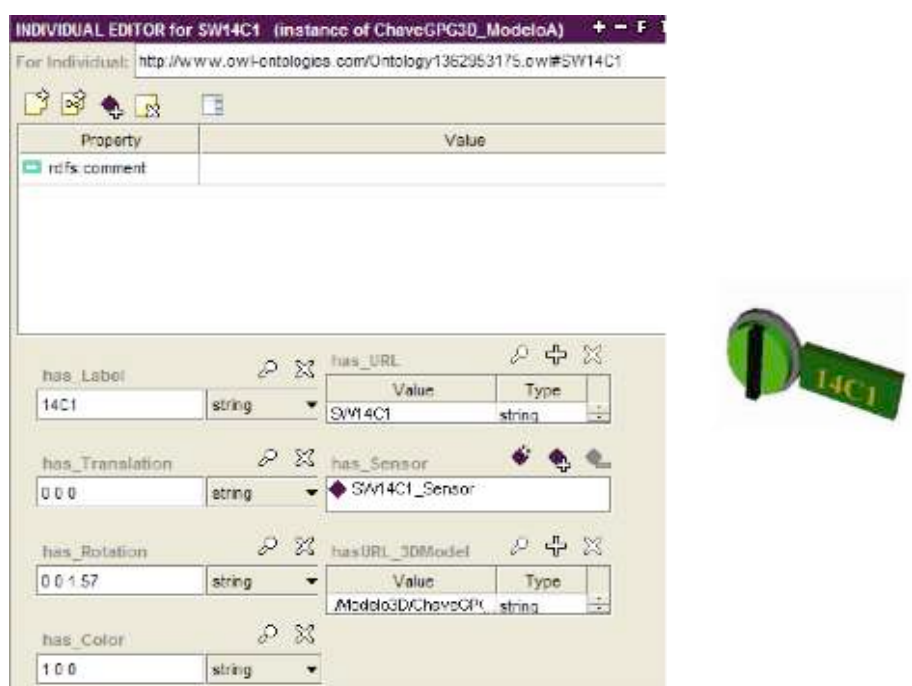


Figura 37: Instanciação de um objeto 3D usando a base de conhecimento

Na Figura 38 é ilustrado um painel de controle associado a alguns componentes disponíveis na biblioteca de objetos 3D.

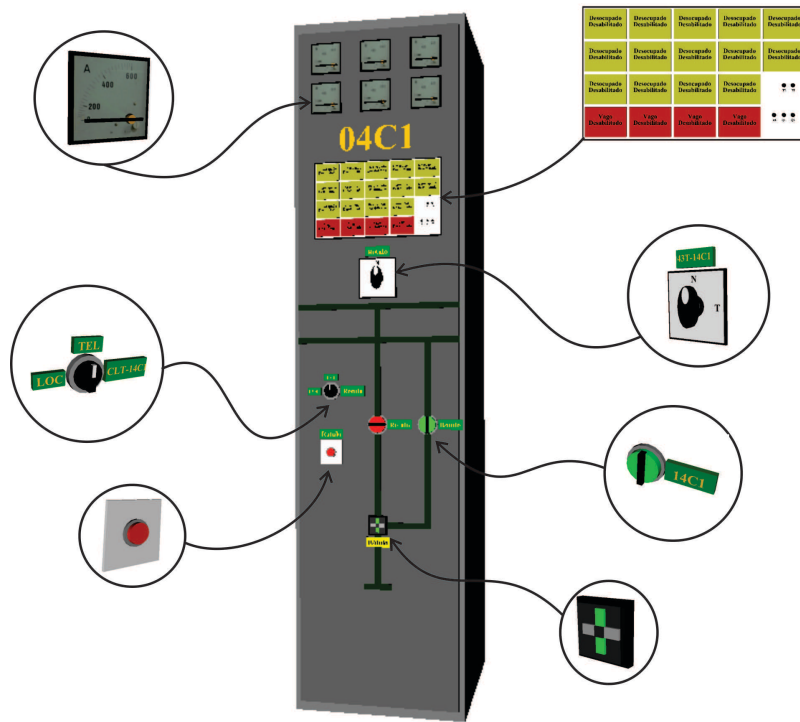


Figura 38: Exemplos de objetos da biblioteca de modelos 3D

Objetos 3D, como chaves, botoeiras e mostradores compõem objetos mais complexos, como painéis de controle e quadros de sinalizações. Por sua vez, objetos compostos são localizados no ambiente virtual 3D da sala de controle.

Portanto, o processo de consulta, instanciação de modelos e associação de objetos pode ser recursiva, sendo finalizado quando todos os objetos são instanciados, gerando automaticamente o ambiente virtual tridimensional.

No SimuLIHM, é utilizado o ambiente CPN Tools (2013), na execução dos modelos de simulação, os quais estão no formato XML com extensão .cpn. Sendo assim, a configuração desses modelos para representarem um cenário de treinamento também é possível utilizando a API JDOM para editar o arquivo .cpn, de acordo com as informações obtidas da base de conhecimento.

Na Figura 39 é apresentada a representação gráfica do modelo CPN que representa uma chave Giro-Pressão-Giro.

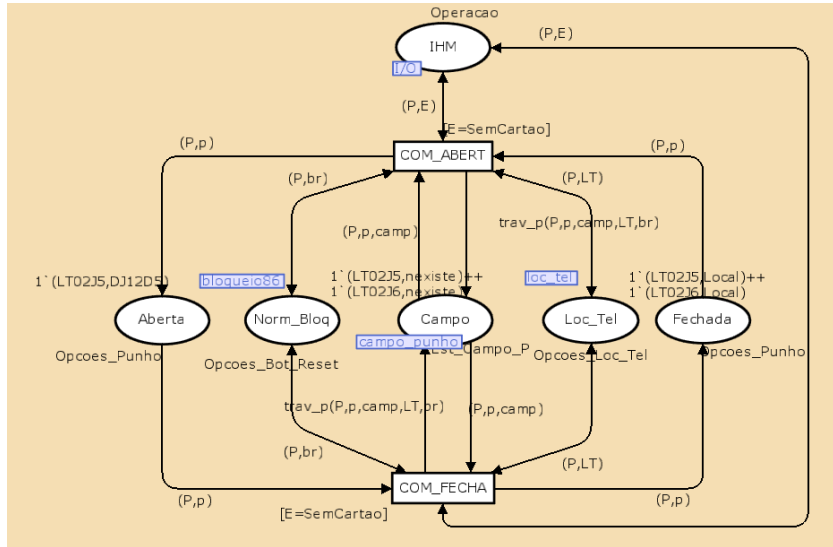


Figura 39: Grafo com parte do modelo CPN para a chave tipo Giro-Pressão-Giro

O ambiente virtual 3D, os modelos de animação e os modelos de simulação, configurados de acordo a base de conhecimento, representam o cenário de treinamento executável pelo SimuLIHM.

Este cenário deve ser armazenado em um banco de dados com suporte a arquivos no formato XML. Na Figura 40 é ilustrado o processo de desenvolvimento dos artefatos descritos acima para representar um cenário de treinamento no SimuLIHM.

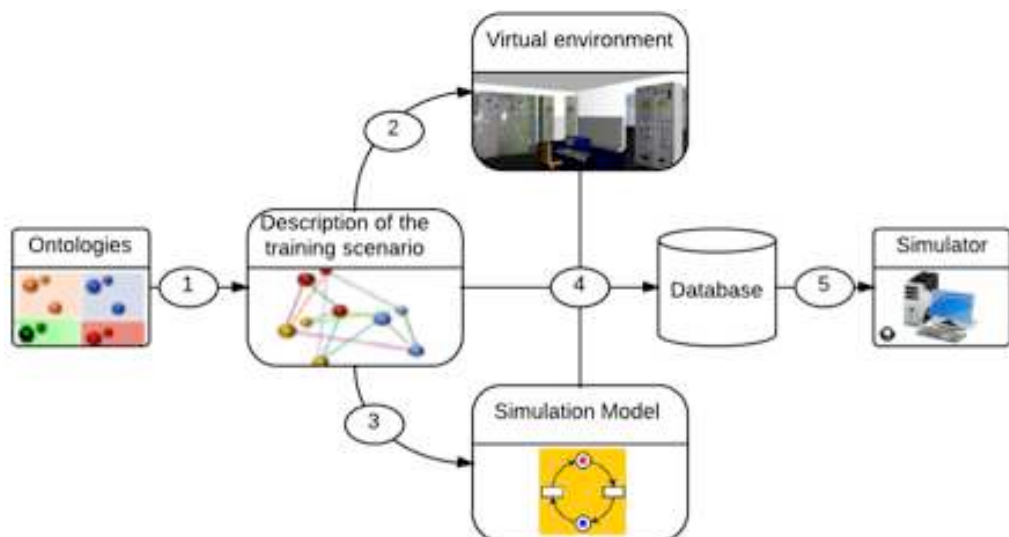


Figura 40: Processo de construção de cenários de treinamento para o SimuLIHM

GERANDO ARTEFATOS PARA O SIMULOP

No editor de cenários do Simulop, é possível carregar um arquivo de texto no formato ASCII onde estão definidos os grupos de eventos, os eventos e as medidas de um cenário para execução.

De mesmo modo que procedemos para o SimuLIHM, usamos o framework Jena para gerar os cenários (artefatos) que o Simulop é capaz de carregar. Ilustramos a seguir um trecho de um destes arquivos.

```
* Export Event Library 15/02/15 17:46:22
* OTS Model EXP Database epriots/db/DBBA
* OTS Date 04/24/2013 TIME 12:11:13
* Maximum Number of Event Groups 20
* Maximum Number of Events Per Group 99
*
* ---- EVENT GROUP ---- 001
*
G:GROUP01
E:C:COMP01:BKT :CGD :CGD:12T5:52 : : !
*
* ---- CONDITIONAL EVENT BLOCKS ----
*
M:VOLT01:XF:CGD :CGD:04T501 :LOW :KV !
C:COMP01: 4:M:VOLT01:GT:C:0 :
```

Neste exemplo, o cenário possui um grupo de eventos (G:GROUP01) com um evento condicional (E:C:COMP01:BKT). Este evento realiza a ação BKT (Circuit Breaker Trip) sobre o disjuntor CGD:12T5:52 da subestação CGD.

Por outro lado, a ação é realizada apenas quando a condição COMP01 é satisfeita. Esta condição realiza uma comparação do tipo GT (Greater Than) entre uma contante de valor zero e uma medida (VOLT01), que esta relacionada ao nível de tensão (em kV) no lado de baixa do transformador CGD:04T501.

Ou seja, o evento programado simula uma falta no lado de baixa do transformador e a consequente atuação do disjuntor.

A empresa brasileira CHESF realiza treinamento e certificação de seus operadores com o simulop. No contexto desta, e de outras empresas do setor elétrico, existe um tipo de documento , com formato padronizado, que detalha o cenário de treinamento planejado para ser executado.

O documento usado na CHESF possui as seguintes seções:

1. Objetivos
 - (a) Objetivo Geral

- (b)Objetivos Específicos
2. Configuração da instalação
 3. Descrição do evento
 4. Tempo de duração
 5. Disjuntores Abertos e Bloqueados
 6. Disjuntores Abertos e Não Bloqueados
 7. Principais sinalizações
 8. Principais proteções atuadas
 9. Roteiro de preparação
 10. Roteiro de execução

Este documento também foi gerado no formato .docx com apoio da API iText (REFERENCIA) a partir da descrição do cenário na base de conhecimento, consultada com apoio da API Jena.

A Figura 41 ilustra o processo de desenvolvimento dos artefatos descritos acima para representar um cenário de treinamento que será executado no Simulop.

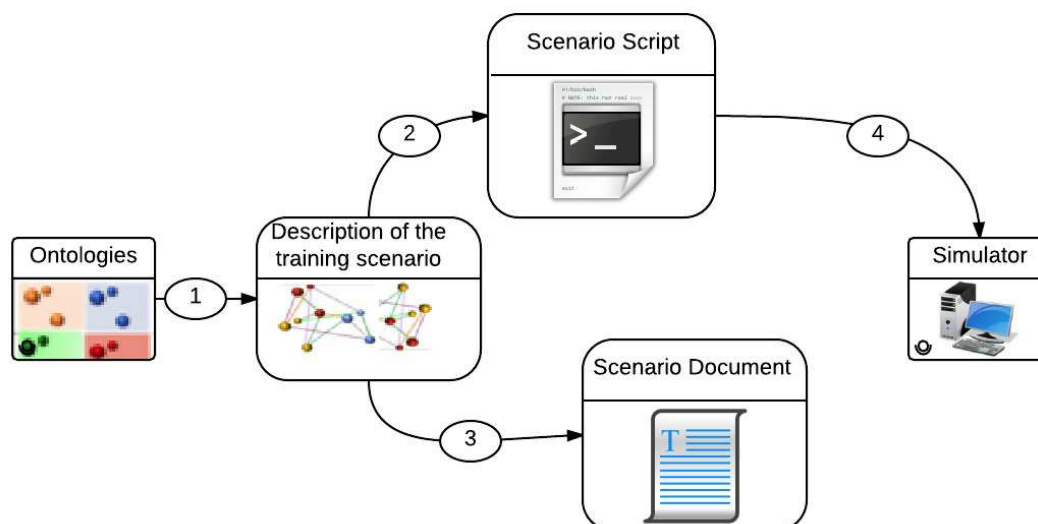


Figura 41: Processo de construção de cenários de treinamento para o Simulop

5.1.3. ETAPA 3: EXECUÇÃO DO CENÁRIO DE TREINAMENTO

Os usuários do simulador, o treinando ou o tutor, engenheiro responsável pelo treinamento, dispõem de uma interface gráfica na qual podem selecionar o cenário de treinamento disponível no banco de dados do sistema e executá-lo.

No SimuLIHM, uma vez selecionado o cenário de treinamento, o treinando é apresentado ao ambiente 3D do simulador. Dentro do ambiente virtual, é possível interagir com representações de painéis de controle e um sistema supervisorio real, configurados para representar o estado inicial da planta.

No Simulop, o treinando interage apenas com um sistema supervisorio (2D) para operar a planta, cujo comportamento é simulado pelo motor de simulação da EPRI. Além disso, o tutor deve ativar os grupos de eventos do cenário carregado para que seja disparados segundo a lógica programada.

Durante a execução do cenário de treinamento, a base de conhecimento é consultada e atualizada, registrando o log da simulação. O registro das ações do treinando pode apoiar a análise do seu desempenho durante a simulação.

5.2. ESTUDO DE CASO

Uma subestação elétrica da empresa CHESF foi usada como exemplo na criação de cenários de treinamento para os dois simuladores mencionados neste Capítulo.

Inicialmente, a ontologia da planta (*CIM*) foi instanciada com todos os equipamentos do sistema CHESF. Também foram definidos os tipos de medidas, níveis de tensão e as subestações da empresa. Para isso, foram usados arquivos de registro do sistema supervisorio da empresa, o SAGE – Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia.

Em seguida, a ontologia *IHM* foi instanciada para definir os painéis de controle da subestação de Campina Grande II, local envolvido no cenário de treinamento. Como as ontologias foram integradas, cada painel e seus elementos de interação (Chaves, Botões e quadros de alarmes) fazem referência a modelos 3D definidos na ontologia *Modelo 3D* e que compõem a biblioteca de modelos do SimuLIHM. Como isso, foi possível reconstruir o ambiente da subestação, ilustrada na Figura 42.



Figura 42: Ambiente virtual representando a sala de controle de uma subestação elétrica

Finalmente, as ontologias *Treinamento* e *CenarioDeTreinamento* foram instanciadas para descrever um treinamento simulado em que um treinando e um tutor participam; e um cenário de treinamento é executado.

Neste cenário de treinamento, simula-se uma falta no lado de baixa de um transformador, levando a abertura do disjuntor. O treinando deveria então perceber o problema e isolar a falta, evitando reenergizar o transformador.

No SimuLIHM, o treinado desloca-se no ambiente virtual 3D e interage com representações de painéis de controle (Figura 40). E no Simulop, o treinando interage com o sistema supervisor. Por outro lado, nos dois casos a mesma base de conhecimento foi usada, ou seja, o treinamento e o cenário foram definidos apenas uma vez.

5.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado um framework para o desenvolvimento de ambientes virtuais (2D ou 3D) para executar cenários de treinamento, o qual se apoia na descrição do cenário de treinamento descrito em função de termos, relacionamentos e restrições constantes em ontologias no domínio da aplicação.

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade da aplicação da solução proposta neste trabalho.

Capítulo 6 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo, são discutidos os resultados alcançados neste trabalho, destacando-se seu alcance e contribuições para a área de estudo. A partir dos limites das soluções alcançadas, são propostos trabalhos que dariam continuidade a esta pesquisa. Por fim, são listadas as publicações realizadas durante o andamento desta pesquisa. Como descrito nos capítulos anteriores, inicialmente foi realizado um estudo bibliográfico sobre ontologias e sobre o treinamento de operadores de sistemas elétricos. A partir do estudo realizado, avaliou-se a aplicação de ontologias como ferramenta de representação de domínios do conhecimento, de modo a permitir a integração, recuperação e processamento da informação sobre treinamentos. Concluiu-se que ontologias são ferramentas adequadas para apoiar ao desenvolvimento de simuladores e a modelagem de cenários de treinamento em diferentes contextos e domínios (Parisi et. al., 2007), (Longo, 2010), (Rocha et. al., 2013), (Gorecky et. al., 2014).

Depois, foram construídas ontologias para a descrição de treinamentos, cenários de treinamento e cenários de erro humano durante a operação de sistemas elétricos. Através do conjunto de ontologias apresentadas neste documento é possível representar uma variedade de tipos de treinamentos com operadores de sistemas elétricos, cenários de treinamento tanto em simuladores, quanto em encenações no ambiente real de operação. Essa representação condensa informações sobre todas as etapas do treinamento: planejamento, execução e avaliação. As ontologias foram desenvolvidas com base em: trabalhos de pesquisa do LIHM; na observação de treinamentos realizados na empresa CHESF; em documentos usados por instrutores desta mesma empresa; relatórios de erro

humano; nas normas IEC 61970-301 e ISO 10015, e em outras fontes bibliográficas citadas no Capítulo 4.

6.1. CONTRIBUIÇÕES

O modelo ontológico apresentado neste trabalho apoia o desenvolvimento de uma variedade de aplicações neste domínio, tais como ferramentas para a construção de cenários para simuladores, ferramentas de planejamento, monitoramento e avaliação do treinamento; entre outras, facilitando assim a interoperabilidade e a compatibilidade entre aplicações independente de uma implementação específica.

Como exemplo, este modelo é usado no desenvolvimento de um aplicativo gerador de cenários para treinamento de operadores da CHESF no ambiente SAGE/Simulop. A validação do modelo ocorreu a partir da instanciação de cenários de treinamento e cenários de erro humano ocorridos do âmbito da CHESF. Houve a participação de uma equipe de tutores da empresa que seguiu a abordagem proposta no Capítulo 5 para a geração de artefatos e a execução dos cenários no simulador, demonstrando sua adequação ao propósito de facilitar a criação e a edição de cenário de treinamento para ambientes de simulação e respondendo à primeira e à segunda questões de pesquisa apresentadas neste trabalho.

Durante o processo de extração do conhecimento foram identificados elementos comuns aos cenários de treinamento e cenários de acidentes provocados pelo erro humano. Desta forma, ao descrever um cenário de erro com base no modelo, as informações são reutilizáveis na composição de cenários de treinamento, reduzindo assim o esforço de construção e edição; e permitindo a integração de informações oriundo de diferentes fontes – dois dos objetivos deste trabalho, relacionados à primeira e à terceira questões que pesquisa apresentadas. Ademais, ao treinar operadores em situações de ocorrência de erro estamos reduzindo a possibilidade de reincidência.

As ontologias construídas neste trabalho estão disponíveis para consulta em um repositório acessível aos interessados, a exemplo de estudantes de pós-graduação em engenharia elétrica, desenvolvedores de software o domínio mencionado, responsáveis por

treinamentos (tutores), e empresas do setor, constituindo em si uma contribuição deste trabalho. A manutenção das ontologias ocorrerá à medida que surgirem novos termos em função de suas aplicações . Por outro lado, espera-se que a estrutura geral seja mantida.

Este trabalho também contribuiu com um arcabouço para o desenvolvimento de cenários de treinamento a serem executados em simuladores, o qual também se apoia nas ontologias que se encontram no repositório citado. Este arcabouço auxilia especialistas no domínio do treinamento, que não tenham formação em computação, a gerenciar e reutilizar componentes de software na composição de diferentes cenários de treinamento em simuladores – respondendo a terceira questão de pesquisa apresentada no Capítulo 1. Dentre as contribuições decorrentes do arcabouço proposto destacam-se:

- Descrição única do cenário de treinamento, passível de ser processada e interpretada por ambientes de simulação;
- Rapidez no desenvolvimento de novas representações para os ambientes de simulação, por especialistas no domínio os quais não têm que ter o conhecimento das ferramentas de modelagem;
- Facilidade de reuso de componentes já desenvolvidos, testados e validados.
- Independência dos modelos de simulação, modelos 2D, modelos 3D e respectivas animações, facilitando a manutenção individual de cada componente ou a sua substituição, sem causar impacto sobre os demais componentes .

A abordagem proposta foi aplicada no desenvolvimento de cenários para dois simuladores utilizados no treinamento de operadores de subestações de sistemas elétricos: o SimuLIHM e o SAGE/Simulop.

Esse processo de desenvolvimento de cenários pode ser adaptado para outros simuladores, com ambientes de simulação completamente distintos daqueles aqui tratados. Espera-se com estes resultados facilitar o compartilhamento e o gerenciamento da informação entre as partes interessadas e facilitar a concepção dos cenários de treinamento.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de continuidade desta pesquisa, apresentam-se as propostas a seguir:

1. **Construir uma base de casos** – Apoiar a construção de uma base de casos que armazene cenários de treinamento os quais possam ser consultados tutores responsáveis pela elaboração do treinamento de operadores no âmbito da empresa CHESF, no contexto do projeto de P&D ora em desenvolvimento no LIHM. Esta base deverá facilitar o compartilhamento de cenários no âmbito da empresa .
2. **Apoiar a proposição de cenários de treinamento a partir de resultados de avaliações de treinamentos realizados** - Silva Netto (2014) apresenta uma ferramenta capaz de comparar o proscrito com o prescrito de um treinamento em simuladores. Recomenda-se pesquisar diretrizes para sugerir novos cenários de treinamento a partir dos resultados alcançados durante um treinamento, identificando pontos fracos no conhecimento necessário ao desenvolvimento das atividades prescritas.
3. **Construção de Editor de cenários para o SimuLIHM** - Dando continuidade a esta pesquisa, propõe-se o desenvolvimento de um módulo de software integrado a um ambiente gráfico de edição dos cenários de treinamento, para o simulador SimuLIHM. Este módulo irá automatizar a execução das etapas do arcabouço apresentado no Capítulo 5.
4. **Apoiar a construção do Editor de cenários para o Simulop** – disponibilizar as ontologias apresentadas para apoiar o desenvolvimento do ambiente de edição de cenários de treinamento para o Simulop, ora em desenvolvimento no LIHM no projeto de P&D da empresa CHESF.

6.3. PUBLICAÇÕES RESULTANTES

Os artigos a seguir foram publicados em anais de evento como parte do processo de pesquisa associado a este trabalho.

TORRES FILHO, F.; VIEIRA, M. d. F. Q. Abordagem ontológica para modelagem da IHM de subestações elétricas”. *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática, 2012.*

TORRES FILHO, F.; VIEIRA, M. d. F. Q. Processo para o desenvolvimento de cenários de treinamento para ambientes virtuais 3D. *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2013.*

TORRES FILHO, F. ; VIEIRA, M. F. Q. An Ontology-Driven Framework to Support Scenario Representation in a 3D Operator Training Simulator. In: 4th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH 2014). Vienna, 2014. p. 298-303. DOI: 10.5220/0005111302980303

Trabalhos no prelo:

TORRES FILHO, F.; VIEIRA, M. d. F. Q.: Ontology Supported Development of Virtual Scenarios for Operator Training Simulators. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, Prof. Dr. Janusz Kacprzyk (Ed), LNCS, vol. N.I., pp. N.I.. Springer, Heidelberg. Página da publicação: <http://www.springer.com/series/11156>

O desenvolvimento deste trabalho foi possível graças aos resultados alcançados em trabalhos anteriores desenvolvidos no âmbito do LIHM/DEE/UFCG – Laboratório de Interface Homem Máquina – os quais foram citados no Capítulo 3 e estão relacionados ao desenvolvimento de métodos e ferramentas que apoiam o planejamento, a execução, o monitoramento e a avaliação de treinamentos realizados com operadores de sistemas industriais, com o objetivo de reduzir a incidência do erro humano nestes ambientes e evitar consequências potencialmente graves. Em particular, a presente pesquisa mostra-se relevante a este campo de pesquisa e contribui para o desenvolvimento de ferramentas que apoiam a geração de cenários de treinamento de operadores de sistemas industriais que são computáveis e passíveis de serem executados por simuladores.

REFERÊNCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, I. P.; GAYOSO, M. B.; BARBOSA, P. C. Treinamento de operadores e a segurança da operação do SIN – a abordagem da CTEEP. XII EDAO – Encontro para Debates de Assuntos de Operação. Anais do XII EDAO – Encontro para Debates de Assuntos de Operação. Brasília, 2012.

ALMEIDA, M; BAX, M. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. Revista Ciência da Informação. Brasília, ano 3, n. 32, 2003, p. 7-20. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ci/v32n3/19019>. Acesso em: 10 Dez 2013.

ALONSO, J. B. Ontology-based Software Engineering. Integrating Cognition Emotion Autonomy. 6th Framework Programme - Cognitive Systems. November, 2006.

BEZERRA, H ; BARROSO, G. C. ; SAMPAIO, R. F. ; LEÃO, R. P.; SOARES, J. M. Sistema simulador para treinamento de proteção e operação de sistemas elétricos. *Anais da Conferência Internacional em Educação em Engenharia e Computação*. 2007.

BRUTZMAN, D.; DALY, L.; X3D: Extensible 3D Graphics for Web Authors. California: Morgan Kaufmann Publications, 2007.

CHESF. Formação e treinamento de operadores de sistema e instalação. Manual da Operação. NO-OP.01.14, 2006.

CORCHO, M. L de A. et al. Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? *Data & Knowledge Engineering*, v. 46, n 1, p. 41-64, 2003.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; JURINO, N. Methontology: From ontological art towards ontological engineering. In: *Spring Symposium Series*, Stanford, p. 33-40, 1997.

GRUBER, T. R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. In: *KNOWLEDGE ACQUISITION*, v. 5, 1993, p. 199-200.

GUERRERO, C. V. S.; Modelo conceitual de cenários de acidentes causados pelo erro humano em sistemas industriais críticos com foco na concepção de interfaces ergonômicas. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2006.

HAAV, H. M.; LUBI, T. L. A survey of concept-based information retrieval tools on the web. In: *PROCEEDINGS OF EAST-EUROPEAN CONFERENCE ADBIS*. 5. 2001.

HORRIDGE, M. et al. A Practical Guide To Building OWL Ontologies using the Protege-OWL plugin and CO-ODE Tools, Edition 1.3. (2011). Disponível em: < http://130.88.198.11/tutorials/protegeowltutorial/resources/ProtegeOWLTutorialP4_v1_3.pdf >. Acesso em: 30 Junho 2013.

IEC 61970. Energy management system application program interface (EMS-API) – Part 301: Common Information Model (CIM) Base. IEC, Ed 3.0, 2011.

ISO 10015. Gestão da qualidade – Diretrizes para Treinamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

JASPER, R.; USCHOLD, M. A framework for understanding and classifying ontology applications. IJCAI-99, ONTOLOGY WORKSHOP, 1999, Stockholm, [S. l. : s. n.], 1999.

JDOM. JDOM Project. Available at: <http://www.jdom.org/index.html>. Acesso em 10 Abril 2013.

JENA API. *Jena2 ontology API*. Available at: <http://jena.sourceforge.net/ontology/index.html>. Acesso em 10 Abril 2013.

KALOGERAKIS, E.; CHRISTODOULAKIS, S.; MOUMOUTZIS, N. Coupling Ontologies with Graphics Content for Knowledge Driven Visualization. *Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference (VR'06)*, pp. 43-50, 2006.

LEE, H. and ZEIGLER, B. P. (2010). SES-based ontological process for high level information fusion. In *Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference (SpringSim '10)*. Society for Computer Simulation International, San Diego, CA, USA, , Article 129 , 10 pages. DOI=10.1145/1878537.1878672

LUUKKAINEN, M.; KARHELA, T. "Ontology approach for co-use of 3D plant modelling and large scale process simulation," *The 48th Scandinavian Conference on Simulation and Modeling (SIMS 2007)*. Linköping University Electronic Press, pp. 166–172, 2008.

MCMORRAN, A. W.; An Introduction to IEC 61970-301 & 61968-11: The Common Information Model. Department of Electronic and Electrical Engineering, University of Strthclyde, Glasgow, UK, 2007.

NASCIMENTO NETO, J. A.. Processo para concepção de estratégias para prevenção do erro na operação de sistemas elétricos. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2010.

NOY, F. N.; MCGUINNESS, D.L. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*, Technical Report SMI-2001-0880, Stanford Medical Informatics, Stanford University, Stanford, CA , USA, 2001.

OLIVEIRA, J. J. R., PEREIRA, L. A. C., LIMA, L. C., SOLLERO, R. B., LEITE, C. R. R., MUNIZ, R. B., COSTA, C. A. B., CAVALCANTE, M. S., CARMO, U. A. C., ARAUJO, A. S., MEIRELLES, L.C., *Treinamento e Certificação de Operadores no Sistema SAGE Empregando o Simulador EPRI/OTS*, Grupo de Estudos de Operação de Sistemas Elétricos, XVIII SNPTEE, Curitiba-Paraná, outubro 2005.

ÖREN, T.I. (2012). The Richness of Modeling and Simulation and its Body of Knowledge. *Proceedings of SIMULTECH 2012, 2nd International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*. Rome, Italy, July 28-31, 2012.

PARISI, S.; BAUCH, J.; BERSSENBR, J.; RADKOWSKI, R. *Ontology-driven Generation of 3D Animations for Training and Maintenance*. International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering. Mue, pp.608-614, 2007.

PROTÉGÉ. The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System. Disponível em: <http://protege.stanford.edu/>. Acesso em 10 Abril 2013.

ROCHA, R. V. ; ARAÚJO, R. B. ; CAMPOS, M. R. ; BOUKERCHE, A.. HLA Compliant Training Simulations Creation Tool. In: , 2009, Singapore. . v. 13. p. 192-198. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5361765>. Acesso em: 10 Dez 2013.

ROCHA, R. V. ; ARAUJO, Regina B. . Metodologia de Design de Jogos Sérios para Treinamento: Ciclo de vida de criação, desenvolvimento e produção. In: SBGAMES, 2013, Sao Paulo. Proceedings do XII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital - Trilha de Arte & Design, 2013., 2013. v. 12. p. 63-72.

SCHREIBER, A.; TERPSTR A, P.; SISYPHUS,V.T. A common KADS solution. [S. l. : s. n.], 1995. (Technical report). Disponível em: <<http://www.swi.psy.uva.nl/projects/Kactus/Papers.html>>. Acesso em: 28 jun. 2013.

SILVA NETTO, A. V.: Avaliação do Desempenho de Operadores no Treinamento da Operação de Sistemas Elétricos em Ambientes Simulados. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2014.

SILVA, V.; NAVARRO A. L. da; LINDEN, R.; RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, M. de F. L. ; LANNES, R. S.; STANDKE, C. R. Simuladores para treinamento de operadores de sistema e de instalações do setor elétrico. *XII ERIAC – Encontro Regional Iberoamericano de Cigré*, Puerto Iguazú, Argentina, 2009.

SURE, Y.; STAAB, S.; STUDER, R. Ontology Engineering Methodology. In STAAB, S.; STUDER, R. (Ed.). *International Handbooks on Information Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2009.

SWARTOUT, B. et al. Toward distributed use of large-scale ontologies. In: PROCEEDINGS OF AAAI97 SPRING SYMPOSIUM SERIES WORKSHOP ON ONTOLOGICAL ENGINEERING, 1997. [S. l.] : AAAI Press, 1997. p. 138-148.

TOLK, A., J. J. PADILLA and C. D. TURNITSA (2010). Conceptual Modeling for Composition of Model-based Complex Systems. In *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, ed. B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hagan, and E. Yücesan. IEEE 2010.

TORRES FILHO, F.; VIEIRA, M. d. F. Q. Abordagem ontológica para modelagem da IHM de subestações elétricas. *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática*, 2012.

TORRES FILHO, F.; VIEIRA, M. d. F. Q. Motor de simulação baseado em modelos CPN aplicado a um sistema para treinamento de operadores. *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Automática*, pp. 1252 – 1259, 2010.

TORRES FILHO, F.; VIEIRA, M. d. F. Q.; COSTA, R. C. d., Ambiente para o treinamento de operadores em painéis e supervisorio apoiado por um módulo tutor. *Anais do X Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, Volume X, pp. 857-862, 2011.

USCHOLD, M.; GRUNINGER, M. Ontologies: principles, methods an applications. *Knowledge Engineering Review*, v. 11, n. 2, 1996.

WEB3D CONSORTIUM. Web3D Consortium: Open Standards for Real-Time 3D Communication. Disponível em: <<http://www.web3d.org/>>. Acesso em: 20 jan. 2012.



**Anexo A - EXEMPLO DE UM
DESCRITOR DE CENÁRIO DE
TREINAMENTO EM SISTEMAS
ELÉTRICOS**

Objetivos Gerais:
<ul style="list-style-type: none"> • Treinar/capacitar a equipe de Operadores de Tempo Real objetivando atingir a eficiência e eficácia na recomposição de Equipamentos/Subestação, através dos aspectos: <i>Flash, preenchimento dos anexos II/III, identificação da sinalização atuada, inspeção nos equipamentos, caracterização do impedimento e verificação da comunicação verbal.</i>

Objetivo específico
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar se houve desligamento parcial ou geral. • Caracterizar impedimentos. • Recompôr a subestação no menor tempo possível e sem cometer erros.

Configuração da Instalação:
<ul style="list-style-type: none"> • Todos os disjuntores de 230kV fechados (exceto 14D1). • Todos os disjuntores de 69kV fechados (exceto 12D1). • Subestação capacitiva conforme necessidade do sistema.

Descrição do Evento:
<ul style="list-style-type: none"> • Desligamento parcial da instalação face atuação da proteção sobrecorrente de emergência instantânea para a LT 04F5 FZD/DMG, com atuação do sobrecorrente com restrição de tensão lado 69 kV dos trafos 04T1/04T2/04T3/04T4 e chave 86 para o Trafo 04T3.

Tempo de Duração Esperado:	• 30 minutos
-----------------------------------	--------------

Configuração após o Evento:
<ul style="list-style-type: none"> • Todos os disjuntores de 230kV abertos (exceto 14F4). • Disjuntores 12H4, 12J3, 12T1, 12T2, 12T3 e 12T4 abertos. • FZD: 14F5 aberto

Proteções Atuadas:
• DMG: 14F5 - 51I
• FZD: 14F5 - 51I
• DMG: 04T3 - 50/51
• DMG: 04T3 - 86
• DMG: 04T1 - 50V
• DMG: 04T2 - 50V
• DMG: 04T3 - 50V
• DMG: 04T4 - 50V
• DMG: 02J3 - 21 - A/B/C

Disjuntores Abertos e Bloqueados:
• DMG: 14T3 e 12T3

Disjuntores Abertos e Não-Bloqueados:
• Disjuntores 12H4, 12J3, 12T1, 12T2, 12T4.
• Todos os disjuntores de 230kV exceto 14F4, 14T3 e 14F5.

Principais Sinalizações		
Painel	Descrição do Anunciador	Quadro de Relés Auxiliares
SAGE DMG	DMG: 04F5-FZD/DMG-PA-SDTI PROT SOBCOR DIRECI TEMPOR/INST	
Painel 04T1	04T1 - 50V	
Painel 04T2	04T2 - 50V	
Painel 04T3	04T3 - 50V	
	04T3 - 86	
Painel 04T4	04T4 - 50V	

Principais Proteções Atuadas no Chassi de Proteção:

Verificar no chassi proteções do 14F5, 04T1, 04T2, 04T3, 04T4.

Roteiro de Preparação do Cenário

1. Criar evento no simulador (Joao)
2. Verificar sinalização no QRA (Sergio)
3. Colar etiquetas nos relés (Sergio)
4. Criar e imprimir lista telefônica (Joao)

Roteiro de Execução do Evento

Ação	Comentários	Horário
1. Informar Flash		:
2. Informações complementares		:
3. Inspeção da SE		:
4. Preparação da SE		:
5. Energização da subestação		:
6. Informar ao núcleo		

Ass. Coordenador do Evento:

Tempo de Duração do Evento

Início

Término

Tempo Gasto

Comentários Gerais
