



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Câmpus de São José do Rio Preto

Marcílio Francisco de Oliveira Neto

**Ontologia de Aplicação para Avaliação de Riscos na Interação  
Humano-Máquina**

Rio Claro  
2022

Marcílio Francisco de Oliveira Neto

**Ontologia de Aplicação para Avaliação de Riscos na Interação  
Humano-Máquina**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Rio Claro.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Rizzo Guilherme

Rio Claro  
2022

O48o Oliveira Neto, Marcílio Francisco de  
Ontologia de Aplicação para Avaliação de Riscos na  
Interação Humano-Máquina / Marcílio Francisco de Oliveira  
Neto. -- Rio Claro, 2022  
108 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista  
(Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro  
Orientador: Ivan Rizzo Guilherme

1. Ontologia. 2. Avaliação de Riscos. 3. Interação  
Humano-Máquina. 4. Segurança e Saúde Ocupacional. I.  
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Marcílio Francisco de Oliveira Neto

**Ontologia de Aplicação para Avaliação de Riscos na Interação Humano-Máquina**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Rio Claro.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Ivan Rizzo Guilherme  
UNESP – Câmpus de Rio Claro  
Orientador

Prof. Dr. Maurício Acconcia Dias  
FHO - Uniararas

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Verônica Carvalho Oliveira  
UNESP – Câmpus de Rio Claro

Rio Claro  
02 de março de 2022

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, por toda dedicação e incentivos a mim propiciados, os quais me permitiram concluir mais esta importante etapa.

Agradeço à minha noiva, por todo companheirismo, incentivo e dedicação ao longo desta jornada.

Agradeço aos meus amigos e ex-professores, Prof. Me. Renato Cagnin e Prof. Dr. Heleno Vale, por me incentivarem, ao longo da graduação e fora dela, a perseguir os estudos no campo da Ciência da Computação. Além disso, cabe um agradecimento especial ao meu amigo, Prof. Me. Renato Cagnin, cuja presença, conhecimento e ensinamentos foram indispensáveis ao longo desta etapa.

Agradeço aos professores e membros da banca, por contribuírem valiosamente com este trabalho.

Por fim, um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Dr. Ivan Rizzo Guilherme, por todas as contribuições, ensinamentos e oportunidades de crescimento no tema apresentado nesta dissertação, bem como nos mais diversos assuntos tratados.

## RESUMO

A área de Segurança e Saúde Ocupacional evolui ao passo que as tecnologias aplicadas nas indústrias evoluem devido aos avanços da Indústria 4.0. Dessa forma, dentro do cenário industrial, com a Interação Humano-Máquina (IHM) presente, novos cenários de riscos são apresentados. Sendo assim, a demanda de análise e identificação desses riscos em ambientes compartilhados, os quais envolvem seres humanos e máquinas, aumentou e, com isso, identificar, classificar e monitorar novos riscos passou a demandar abordagens que utilizam sistemas computacionais com tecnologias avançadas de sistemas de informação, compartilhamento de dados, web semântica e ontologias, garantindo melhor cooperação e exploração das capacidades das máquinas em conjunto com os seres humanos, e portanto, um ambiente mais seguro. Porém, abordagens que utilizam ontologias para descrever o contexto de riscos não englobam a descrição do contexto de IHM, sendo que a recíproca também é válida. Além disso, a avaliação de riscos no contexto de IHM não utiliza, em sua maioria, tecnologias semânticas. Desse modo, com o intuito de propor uma ontologia capaz de descrever o contexto de análise de riscos em ambientes de IHM, o presente trabalho propõe a ontologia OAR-IHM, bem como uma aplicação semântica para validar a ontologia em cenários de IHM simulados, através do uso de simulador CoppeliaSim. A ontologia OAR-IHM reutiliza uma ontologia do contexto de riscos, a Hazardous Situation, e uma ontologia do contexto de máquinas e sensores, a Semantic Sensor Network, bem como demais requisitos que visam a segurança do colaborador em um cenário de IHM, para oferecer descrição suficiente desse contexto a fim de possibilitar a avaliação do risco presente em diferentes cenários simulados de IHM. Dessa forma, uma vez criada a ontologia, ela é utilizada para definir um modelo conceitual inicial do contexto presente no cenário simulador, o qual é criado no simulador CoppeliaSim. Sendo assim, com o modelo conceitual inicial criado e a simulação confeccionada, tais etapas servem como entrada para uma aplicação semântica, a qual é capaz de, em tempo de execução, instanciar todos os indivíduos presentes no cenário de IHM simulado, bem como todas as suas respectivas relações, possibilitando a consulta do potencial risco presente no cenário, baseado na distância entre colaborador e maquinários presentes no ambiente. Com isso, foram confeccionados quatro diferentes cenários simulados de IHM, e, através da ontologia OAR-IHM e da aplicação semântica, a proposta se mostrou suficiente na descrição dos contextos apresentados nesses cenários, bem como ofereceu formas de avaliar o risco presente nos cenários, levando em consideração a distância entre colaboradores e maquinários.

**Palavras-chave:** Ontologia. Avaliação de Riscos. Interação Humano-Máquina. Segurança e Saúde Ocupacional

## ABSTRACT

The Occupational Safety and Health area evolves while the technologies applied in the industries evolve due to the advances of Industry 4.0. Thus, within the industrial scenario, with Human-Machine Interaction (HMI) present, new risk scenarios are presented. Thus, the demand for analysis and identification of these risks in collaborative environments, which involve humans and machines, has increased and, with that, identifying, classifying, and monitoring new risks has started to demand approaches that use computer systems with advanced technologies of systems of information, data sharing, semantic web, and ontologies, ensuring better cooperation and exploitation of the capabilities of machines together with humans, and therefore, a safer environment. However, approaches that use ontologies to describe the risk context do not encompass the description of the HMI context, and the converse is also valid. In addition, risk assessment in the context of HMI does not use, for the most part, semantic technologies. Thus, to propose an ontology capable of describing the context of risk analysis in HMI environments, the present work proposes the OAR-HMI ontology, as well as a semantic application to validate the ontology in simulated HMI scenarios, through using CoppeliaSim simulator. The OAR-IHM ontology reuses a risk context ontology, the Hazardous Situation, and a machine and sensor context ontology, the Semantic Sensor Network, as well as other requirements aimed at employee safety in an HMI scenario, to offer sufficient description of this context to make it possible to assess the risk present in different simulated HMI scenarios. Thus, once the ontology is created, it is used to define an initial conceptual model of the context present in the simulator scenario, which is created in the CoppeliaSim simulator. Thus, with the initial conceptual model created and the simulation made, these steps serve as input to a semantic application, which is capable, at runtime, of instantiating all the individuals present in the simulated HMI scenario, as well as all their respective relationships, making it possible to consult the potential risk present in the scenario, based on the distance between the employee and machinery present in the environment. With this, four different simulated HMI scenarios were created, and, through the OAR-IHM ontology and the semantic application, the proposal proved to be sufficient in the description of the contexts presented in these scenarios, as well as offering ways to assess the risk present in the scenarios, considering the distance between employees and machinery.

**Keywords:** Ontology. Risk Evaluation. Human-Machine Interaction. Occupational health and Safety

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Categorias tecnológicas da indústria 4.0 e aspectos de SSO.	18
Figura 2 - Modelo Triangular de Risco.	19
Figura 3 - Esquema representativo de um ambiente compartilhado.	22
Figura 4 – Representação de uma declaração em forma de tripla.	26
Figura 5 - Passos de desenvolvimento de ontologia.	27
Figura 6 - Módulos gerais da ontologia SSN.	29
Figura 7 - Diagrama UML Hazard Ontology.	33
Figura 8 - Diagrama da ontologia Hazardous Situation.	35
Figura 9 - Entidade Object na ontologia proposta.	38
Figura 10 - Entidade Environment na ontologia proposta.	38
Figura 11 - Relações de outras entidades com a PHA via OntoGraf.	40
Figura 12 - Modelo conceitual da distribuição de sensores.	43
Figura 13 - Processo do HAZOP-UML.	45
Figura 14 - Esquemático da estratégia proposta.	49
Figura 15 – Modelo “leão” de riscos e segurança.	51
Figura 16 – Principais relações entre classes no contexto de riscos	56
Figura 17 – Principais relações entre classes no contexto de máquinas/sensores.	56
Figura 18 - Arquitetura do Sistema proposto no estudo de caso	61
Figura 19 - Diagrama de classes da aplicação.	63
Figura 20 – Fluxo de execução das etapas do experimento	66
Figura 21 – Modelo do Manipulador robótico e disposição dos sensores	68
Figura 22 – Modelo dos colaboradores	69
Figura 23 - Cenário de IHM simplificado	73
Figura 24 – Fragmento do cenário de IHM modelado pelas relações da OAR-IHM.	75
Figura 25 - Destaque da trajetória a ser realizada pelo colaborador.	84
Figura 26 – Fragmento da relação de indivíduos para o cenário de caminhada	85
Figura 27 - Saída da aplicação ao detectar um colaborador em "ShortDistance".	85
Figura 28 - Detecção de um colaborador em "MediumDistance".	87
Figura 29 - Colaborador invadindo área de atuação em uma atividade de pintura.	88
Figura 30 – Modelo conceitual inicial para o cenário de pintura	89
Figura 31 - Relação de indivíduos para o cenário de pintura.	90



Figura 32 – Colaborador invadindo área de atuação em uma atividade de soldagem.	92
Figura 33 – Modelo conceitual inicial para o cenário de soldagem	93
Figura 34 - Colaborador invadindo área de atuação em uma atividade de separação de caixas.	96
Figura 35 – Modelo conceitual inicial para o cenário de garra	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre as classes e subclasses da ontologia. ....	39
Tabela 2 - Descrição de cada propriedade relacionada às entidades. ....	40
Tabela 3 - Síntese das abordagens de ontologias de riscos apresentadas. ....	41
Tabela 4 - Síntese das abordagens de segurança em IHM. ....	52
Tabela 5 - Principais classes da ontologia proposta. ....	55
Tabela 6 - Principais novas classes e propriedades da ontologia proposta. ....	57
Tabela 7 - Principais indivíduos do modelo conceitual. ....	70
Tabela 8 - Declarações do cenário de IHM representadas em forma de triplas. ....	74
Tabela 9 - Inferências do raciocinador no contexto mínimo. ....	76
Tabela 10 - Prefixos necessários para execução das consultas SPARQL. ....	79
Tabela 11 - Consulta SPARQL para identificação do risco. ....	79
Tabela 12 - Consulta SPARQL para identificação de danos ao colaborador. ....	80
Tabela 13 - Consulta SPARQL para identificação de evento sem risco. ....	80
Tabela 14 - Resultados do cenário de caminhada com risco. ....	86
Tabela 15 - Resultados do cenário de caminhada sem risco. ....	87
Tabela 16 – Descrições e triplas correspondentes do cenário de pintura. ....	89
Tabela 17 - Resultados do cenário de pintura com risco de colisão. ....	90
Tabela 18 - Resultados do cenário de pintura com risco de danos na pele. ....	91
Tabela 19 – Descrições e triplas correspondentes do cenário de soldagem. ....	93
Tabela 20 - Resultados do cenário de soldagem com risco de colisão. ....	94
Tabela 21 - Resultados do cenário de soldagem com risco de danos na pele. ....	95
Tabela 22 – Descrições e triplas correspondentes do cenário de garra. ....	97
Tabela 23 - Resultados do cenário de garra com risco de colisão. ....	98
Tabela 24 - Resultados do cenário de garra com risco de danos na mão. ....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>API</b>	Interface de Programação de Aplicação
<b>APR</b>	Análise Preliminar de Riscos
<b>ATI</b>	Ambientes de Trabalho Inteligentes
<b>ERGA</b>	Real-coded Genetic Algorithm
<b>EPI</b>	Equipamentos de Proteção Individuais
<b>FMEA</b>	Análise de Modo de Falha e Efeito
<b>IC</b>	Internet das Coisas
<b>IHM</b>	Interação Humano-Máquina
<b>LN</b>	Linguagem Natural
<b>OAR-IHM</b>	Ontologia para Avaliação de Riscos na Interação Humano-Máquina
<b>OHSAS</b>	Occupation Health and Safety Assessment Series
<b>OWL</b>	Web Ontology Language
<b>POO</b>	Paradigma Orientado a Objeto
<b>RDF</b>	Resource Description Framework
<b>SCF</b>	Sistemas Ciber-Físico
<b>SSN</b>	Semantic Sensor Network
<b>SSO</b>	Segurança e Saúde Ocupacional
<b>SSOb</b>	Stimulus Sensor Observation

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. ASPECTOS CONCEITUAIS</b> .....	<b>17</b>
2.1. Análise Preliminar de Riscos .....	17
2.2. Segurança na Interação Humano-Máquina .....	21
2.3. Web Semântica.....	25
2.3.1. Ontologia.....	25
2.3.1.1. Ontologia SSN - Semantic Sensor Network .....	29
2.4. Ferramentas.....	30
2.4.1. Protégé .....	30
2.4.2. Framework Apache Jena .....	30
2.4.3. Simulador CoppeliaSim.....	31
<b>3. TRABALHOS CORRELATOS</b> .....	<b>32</b>
3.1. Ontologias de Riscos .....	32
3.1.1. Hazard Ontology.....	32
3.1.2. Hazardous Situation Ontology .....	34
3.1.3. Ontology of Safety and Health.....	36
3.1.4. RAMIRES .....	36
3.1.5. Methontology .....	39
3.1.6. Síntese dos Trabalhos.....	41
3.2. Segurança na colaboração Humano-Máquina.....	42
3.2.1. Controle de segurança baseado em sensores de distância .....	42
3.2.2. Análise de risco na interação humano-máquina com HAZOP-UML .....	44
3.2.3. Estratégia de variação de velocidade livre de colisão em IHM.....	46
3.2.4. Sistema de controle especialista .....	47
3.2.5. Trajetória baseada em avaliação de segurança .....	48
3.2.6. Proposta de Colaboração Segura em ambientes Humano-Máquina.....	50

3.2.7. Síntese dos Trabalhos.....	51
<b>4. ONTOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS NA INTERAÇÃO HUMANO-MÁQUINA .....</b>	<b>54</b>
4.1. Visão geral da ontologia OAR-IHM .....	54
4.2. Contribuições da ontologia OAR-IHM .....	57
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>60</b>
5.1. Arquitetura da Aplicação Semântica .....	60
5.2. Método para Criação do Experimento.....	64
5.2.1. Principais Entidades Presentes nos Cenários .....	67
5.2.2. Modelo Conceitual do Contexto.....	69
5.2.3. Execução e Criação do Modelo de Mundo em Memória .....	71
5.2.4. Relacionamento entre Modelo Conceitual do Contexto e Modelo de Mundo baseado em POO.....	72
5.2.6. Inferências da OAR-IHM em um cenário de IHM.....	76
5.2.7. Consultas na ontologia OAR-IHM.....	78
<b>6. RESULTADOS DO EXPERIMENTO .....</b>	<b>82</b>
6.1. Visão geral dos Experimentos .....	82
6.2. Cenário de caminhada .....	83
6.3. Cenário de pintura.....	87
6.4. Cenário de soldagem .....	91
6.5. Cenário de garra .....	95
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>102</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por garantir Segurança e Saúde Ocupacional (SSO) do colaborador no ambiente de trabalho e mantê-lo fora de zonas de perigos tem crescido conforme o avanço da tecnologia (GOETSCH, 2019), uma vez que a computação ubíqua e sistemas pervasivos (ZHOU, 2017) estão inseridos em setores e domínios da vida e das atividades humanas e se beneficiam cada vez mais da mobilidade e da conectividade de dispositivos eletrônicos. Esse avanço também existe nos setores industriais e de novas manufaturas, se beneficiando da evolução de sensores e de dispositivos interconectados (PODGÓRSKI et al., 2017).

No contexto das indústrias de manufatura, a Interação Humano-Máquina (IHM) aumentou devido às evoluções tecnológicas, onde nas últimas décadas, robôs industriais têm sido amplamente utilizados nesse setor para substituir os seres humanos em diferentes tarefas, livrando-os de trabalhos repetitivos, prejudiciais e perigosos (ROBLA-GÓMEZ et al., 2017), ou mesmo auxiliando o trabalhador em diversas tarefas de maneira cooperativa, enquanto compartilham o mesmo espaço de trabalho (AVANZINI et al., 2014). No passado, havia áreas de trabalho específicas e fisicamente separadas para os manipuladores industriais e os seres humanos, acarretando pouca flexibilidade do sistema produtivo, mas com os avanços da Indústria 4.0 essa separação já não é mais empregada, resultando no compartilhamento do ambiente de trabalho (DOHI et. al., 2018).

Tal compartilhamento do espaço de trabalho gera uma interação humano-máquina que não é algo simples de ser tratado e requer inúmeras alterações nos processos atuais para tornar essa interação flexível, intuitiva e produtiva, bem como aceitável por parte dos seres-humanos (BELOUAER; BOUZID; MOUADDIB, 2010). Devido a esse novo modelo compartilhado, tem-se o surgimento de novos riscos, o que acarretou um aumento na demanda por novas formas de identificar, classificar e monitorar essas situações perigosas (AVANZINI et al., 2014) (GOETSCH, 2019;) (ROBLA-GÓMEZ et al., 2017).

Neste contexto, são empregadas novas gerações de sistemas que se beneficiaram de tecnologias avançadas de sistema de informação, comunicação e análise de dados, garantindo melhor cooperação e exploração das capacidades

dessas máquinas. Sistemas classificados como ciber-físicos surgiram com o papel de coletar e compartilhar informações do ambiente utilizando sistemas embarcados, redes integradas, sensores e demais tecnologias, tais sistemas buscam uma interação humano-máquina possível e segura (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017). Essas mudanças levaram ao surgimento de um vasto campo de pesquisa que visa prevenir impactos na interação humano-máquina e minimizar os riscos relacionados, bem como suas consequências (AVANZINI et al., 2014) (ROBLA-GÓMEZ et al., 2017).

Assim, a Análise Preliminar de Risco (APR) objetiva atingir o entendimento de cenários que possam levar aos incidentes (ZHOU, 2017). A etapa de APR relaciona a identificação de risco, fatores causais associados, efeitos, níveis de riscos e formas de mitigá-los, e fornece uma metodologia que identifica e compara riscos nos cenários analisados. Essa etapa busca afetar antecipadamente um projeto de segurança para que ações assertivas sejam tomadas visando o bem-estar do colaborador (ERICSON, 2005). Além disso, identificação de riscos é fundamental para analisar, definir e gerar requisitos para a segurança (PROVENZANO et al., 2017). Desta forma, é necessário o conhecimento de especialistas para que uma opinião definitiva sobre o que causa o risco seja formada (TAN; YEW; LOW, 2012).

Neste contexto, a identificação de cenários que contém riscos ou ocorrência de incidente é realizada por seres humanos e descrita na forma de linguagem natural (LN), sendo comum a generalização de descrições, falta ou redundância de informações, o que impacta negativamente nas análises manuais (ZHOU; HANNINEN; LUNDQVIST, 2017). Um dos principais métodos para identificação e análise de riscos é o Estudo de Perigo e Operacionalidade (*Hazard and Operability Analysis – HAZOP*), o qual é um *brainstorm* de especialistas de diversas áreas envolvidas no ambiente de trabalho cujo objetivo é identificar e encontrar formas de mitigar cenários de riscos (MORENO-TREJO; HERAS; MARKESET, 2013).

O método HAZOP, segundo Wu et al. (2013), possui desvantagens, uma vez que é baseado em documentos de textos e necessita de grande quantidade de informação para que se tenha uma análise assertiva. Além disso, por ser interpretada por seres humanos, um mesmo cenário pode conter diferentes interpretações, ambiguidades e falhas de conceitualização, dificultando o processo de análise e identificação dos cenários de riscos.

Portanto, é necessário garantir a conceitualização dos cenários perigosos utilizando descrições que enfatizem as informações importantes, permitindo aos sistemas executarem automaticamente mecanismos capazes de identificar tais situações, bem como buscar as ações corretas contra esses riscos (ZHOU; HANNINEN; LUNDQVIST, 2017).

Dado essa necessidade, uma nova geração de sistemas é desenvolvida sob as áreas de Ambientes de Trabalho Inteligentes (ATI), Internet das Coisas (IC), Ontologias, Aprendizado de Máquina (SAEED et al., 2015), entre outras, e têm oferecido diversas soluções para a tarefa de segurança na indústria, incluindo a identificação de riscos (PODGÓRSKI et al., 2017). Algumas contribuições adotam abordagens com Web Semântica e Ontologias, uma vez que modelos utilizando linguagem padronizada, como a *Web Ontology Language* (OWL), podem ser facilmente estendidos e direcionados (SAEED et al., 2015) para áreas específicas, como a etapa de APR (ZHOU; HANNINEN; LUNDQVIST, 2017).

As tecnologias da Web Semântica utilizando os conceitos de ontologias e grafo de conhecimento visam descrever diferentes contextos baseados em níveis de dependências, seja uma tarefa particular ou um conceito abstrato, oferecendo descrição formal do contexto em questão (TAN; YEW; LOW, 2012) (PODGÓRSKI et al., 2017). Também permitem o uso de mecanismos de raciocínio de conhecimento que podem raciocinar dinamicamente – inferir – sobre as capacidades das entidades e analisar possíveis relações (UMBRICO; ORLANDINI; CESTA, 2020). Sendo assim, as ontologias são capazes de representar importantes conceitos que envolvem interações humano-máquinas e seus potenciais impactos (USCHOLD; DING; GROWTH, 2018).

Neste contexto, várias abordagens que utilizam ontologias são aplicadas no cenário de segurança, visando a análise e identificação de riscos. Contudo, não levam em consideração a Interação Humano-Máquina (IHM), o que não permite uma descrição completa das entidades presentes no ambiente de trabalho compartilhado, tais como: maquinários, sensores e suas relações. Por outro lado, as abordagens ontológicas que descrevem o contexto de máquinas, como a *Semantic Sensor Network* (SSN), não cobrem os potenciais riscos presentes no ambiente compartilhado em IHM. Além disso, abordagens que visam identificar e mitigar riscos



dentro de cenários contendo IHM são baseadas, em sua maioria, em modelos matemáticos, como planejamento de trajetórias e de velocidade.

Portanto, tem-se que não há abordagens utilizando tecnologias semânticas no contexto de IHM que buscam identificar e avaliar os potenciais riscos presentes nesses cenários. Desta forma, destaca-se a necessidade de abordagens capazes de explorar a expressividade semântica tanto no contexto de segurança e análise de riscos, quanto no contexto de IHM. Assim, essas abordagens podem oferecer descrições suficientes para representar as entidades dentro do contexto de análise de riscos em ambientes de IHM.

Desta forma, motivado por esta lacuna entre as abordagens ontológicas dos contextos de análise de riscos e de maquinários em um cenário de IHM, esta dissertação visa apresentar uma ontologia de aplicação capaz de descrever ambos os contextos e avaliar os potenciais riscos presentes em diferentes cenários de IHM utilizando, para este fim, ontologias já existentes. Para tanto, reutiliza uma proposta de ontologia de aplicação do contexto de análise de riscos, bem como o uso da ontologia SSN, a fim de criar uma ontologia, denominada OAR-IHM, capaz de oferecer expressividade suficiente para descrever o contexto de riscos em cenários de IHM.

Neste contexto, para fins de validação da ontologia proposta e obtenção de resultados, uma aplicação utilizando tecnologias de web semântica é desenvolvida e, através de uma interface de programação de aplicação (API), consome dados do simulador CoppeliaSim, o qual simula cenários de IHM. A aplicação semântica é responsável por construir relações e representações dos elementos de cada cenário de IHM, dado um modelo conceitual inicial do contexto e os dados do simulador como entrada, possibilitando assim a obtenção da avaliação de riscos de acordo com a ontologia proposta. Assim, este trabalho está estruturado conforme a seguir: No Capítulo 2 são apresentados os aspectos conceituais que embasam a proposta apresentada neste trabalho, bem como as ferramentas utilizadas. O Capítulo 3 apresenta uma revisão de literatura acerca de ontologias propostas no contexto de riscos e no âmbito de segurança envolvendo a interação humano-máquina. O Capítulo 4 trata a ontologia de aplicação proposta neste trabalho, com enfoque nas relações e entidades que as compõem. No Capítulo 5 é apresentada a metodologia e o software desenvolvido para a simulação dos cenários de IHM e a avaliação dos riscos de

acordo com a ontologia. No Capítulo 6 são apresentados os cenários IHM e os resultados gerados na avaliação do risco de acordo com a metodologia e a ontologia desenvolvida. Por fim, no Capítulo 7 as conclusões do trabalho.

## **2. ASPECTOS CONCEITUAIS**

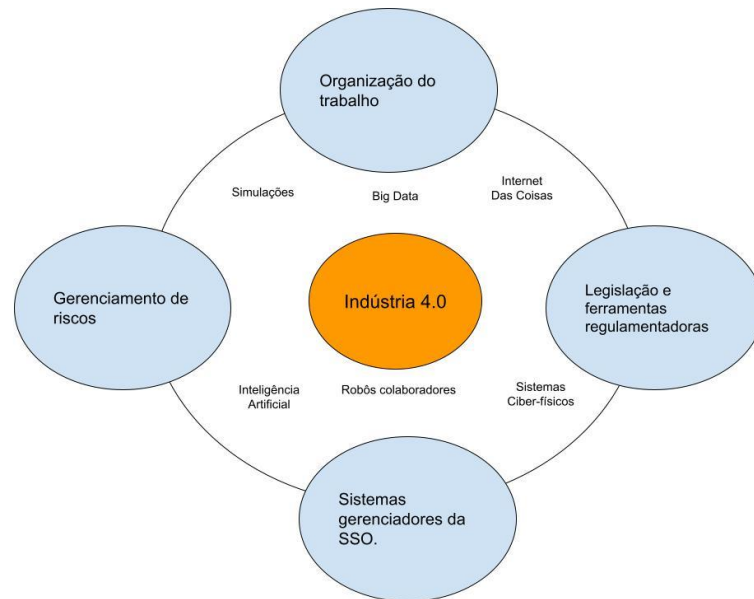
Este capítulo apresenta os conceitos e tecnologias relacionados ao desenvolvimento deste trabalho. Assim, a seção de Análise Preliminar de Riscos visa introduzir e detalhar conceitos importantes sobre riscos e como identificá-los. Na seção Segurança na Interação Humano-Máquina busca-se expor os conceitos e mudanças que levaram às mudanças na área de segurança, bem como uma classificação dessa área baseada na indústria 4.0. A seção Web Semântica conceitualiza importantes pontos relacionados à atribuição de significado aos dados. A seção Ontologia aborda os principais conceitos relacionados à área, bem como suas classificações e tecnologias relacionadas e, por fim, a seção Ferramentas descreve as principais ferramentas utilizadas.

### **2.1. Análise Preliminar de Riscos**

Os pesquisadores da área de Segurança e Saúde Ocupacional (SSO) desenvolveram formas de gerenciar os riscos, que agora são suportadas por ferramentas sofisticadas e novos padrões que buscam a segurança do trabalhador no ambiente de trabalho. Segundo Badri, Boudreau-Trudel e Saâdeddine (2018), grandes áreas tecnológicas da indústria 4.0 são categorizadas junto aos aspectos da área de SSO, conforme exibido na Figura 1. Sendo assim, essa área visa não mais ações reativas, mas proativas de todo o ecossistema industrial, demandando uma atenção especial na área de prevenção de riscos e acidentes.

Além disso, subáreas da SSO objetivam melhorar as instalações das indústrias de forma a aprender com os cenários de riscos do passado e com uma análise contínua do processo (FUENTES-BARGUES et al., 2017). Dentro da SSO, o processo de gerenciamento de riscos busca coordenar e garantir a eficácia do processo de segurança, identificando, avaliando e mitigando proativamente os riscos que podem ocorrer dentro de um ambiente de trabalho (TAN; YEW; LOW, 2012).

Figura 1 - Categorias tecnológicas da indústria 4.0 e aspectos de SSO.



**Fonte:** Adaptado de Badri, Boudreau-Trudel e Saâdeddine (2018).

Em Mayer, Heymans e Matulevicius (2007) é enfatizado que o denominador comum de toda abordagem sobre gerenciamento de risco é a noção de que objetivos de segurança devem ser alcançados para que não haja perdas de ativos de uma organização, ou seja, maquinários, processos, sistemas, entre outros, que possuem valor para a organização, bem como danos em recursos humanos. Portanto, é através da fase de Análise Preliminar de Riscos (APR) que as informações são consolidadas e analisadas para uma possível tomada de decisão.

A fase de APR é importante no entendimento geral dos cenários que acarretam riscos e levam a potenciais acidentes (MORENO-TREJO; HERAS; MARKESSET, 2013) devido às diversas fontes de riscos presentes no ambiente de trabalho compartilhado. Essa fase, segundo Zhou (2017), envolve três principais tarefas:

- Identificar potenciais riscos dados como entrada dessa tarefa, as descrições de tais riscos;
- Analisar as causas associadas aos riscos identificados;
- Definir os requisitos de segurança e/ou definir os sistemas que irão mitigar tais riscos.

O termo risco, segundo Ericson (2005) e Zhou (2017), é uma entidade composta por elementos necessários e suficientes que resultam em um acidente. Os três componentes básicos são:

1. Elemento perigoso (fonte de risco): recurso primário que impulsiona ao risco, como: explosivos, produtos químicos, maquinários;
2. Mecanismo de iniciação: gatilho que leva um cenário de risco inativo a ativo, transformando o cenário, tais como: proximidade ao elemento perigoso ou faíscas;
3. Alvo (resultado do risco): pessoa ou objeto vulnerável, que exposto ao perigo, descreve a gravidade do evento de acidente. Caracteriza o resultado do acidente, como os danos e perdas esperados, tais como: queimaduras ou lesões.

Figura 2 - Modelo Triangular de Risco.



Fonte: Adaptado de Ericson (2005) e Zhou (2017).

Um modelo clássico que conceitualiza o risco é o chamado Modelo Triangular, mostrado na Figura 2. Basicamente, o modelo ilustra as entidades que compõem o termo risco como sendo os lados de um triângulo, definindo assim o que é essencial e necessário para que um risco exista (ERICSON, 2005; ZHOU, 2017). Ou seja, a remoção de um dos lados do triângulo implica na extinção do risco, uma vez que não há a possibilidade de iniciar um acidente (ZHOU, 2017).

Neste contexto, uma vez identificado os riscos, bem como as fontes que podem causar danos, tais como: mecanismos, sistemas e quais as consequências envolvidas, tem-se o que é fundamental para analisar, definir e gerar requisitos para a segurança (PROVENZANO et al., 2017). Para isto, é necessário especialistas capazes de gerar uma opinião concisa sobre o processo que causa o risco (TAN; YEW; LOW, 2012).

Porém, como esse processo é realizado por seres humanos, a taxa de redundância e generalização dos termos é alta, bem como a falta de precisão e padrão nas informações, o que impactam o resultado sobre quanto de riscos e acidentes podem ser mitigados ou evitados. Sendo assim, métodos básicos e simples de análises preliminares de riscos e perigos não satisfazem mais os requisitos impostos pelo avanço tecnológico da área (WU et al., 2013). Além disso, diversos níveis de entendimento sobre os riscos, bem como requisitos, maquinários e sistemas, são necessários para mitigar ou inibir os riscos presentes no ambiente de trabalho (ZHOU, 2017), o que demanda um alto nível de detalhamento das informações.

Um dos principais métodos bases para a análise de riscos é o chamado Estudo de Perigo e Operacionalidade (*Hazard and Operability Analysis – HAZOP*) (WU et al., 2013), que busca encontrar riscos associados ao processo e ao ambiente de trabalho, identificando suas causas e consequências (KURAOKA; BATRES, 2003). O HAZOP é um *brainstorm* de especialistas de diversas áreas envolvidas no ambiente de trabalho visando identificar e mitigar cenários perigosos, e uma maneira de realizá-lo é baseado nos seguintes passos, segundo Moreno-Trejo, Heras e Markeset (2013):

- Definir o escopo de trabalho;
- Selecionar a equipe que realiza as análises;
- Coletar as informações dos históricos disponíveis e similares ao escopo;
- Rever o processo atual;
- Subdividir o processo em pequenas unidades gerenciáveis;
- Revisar o processo baseado em legislações vigentes;
- Documentar procedimentos e constatações;
- Acompanhar as ações corretivas e garantir que houve adequação.

O método HAZOP é o responsável pelos requisitos de segurança, e tem como casos de aplicação o mapeamento de riscos para novos processos/equipamentos, atualizações de sistemas e aprendizado operacional (MORENO-TREJO; HERAS; MARKESET, 2013). O HAZOP também é empregado na Interação Humano-Máquina (IHM), como pode ser visto em Guiochet (2016), que buscou analisar os riscos presentes nos comportamentos não determinísticos de robôs e, baseado neste método, realizou a identificação do perigo presente no cenário.

Segundo Wu et al. (2013), a análise HAZOP possui desvantagens por ser baseada em documentos de textos, designando grande quantidade de informações e produzindo inúmeras outras, o que limita o reuso das informações. Além disso, por ser interpretada por seres-humanos, um mesmo cenário pode gerar diferentes contextos descritos, além de diferir devido aos modos e linguagens utilizadas. Portanto, há uma falta clara de formalismo, o que é um obstáculo para uso de métodos computacionais e raciocínios automatizados capazes de extrair informações pertinentes.

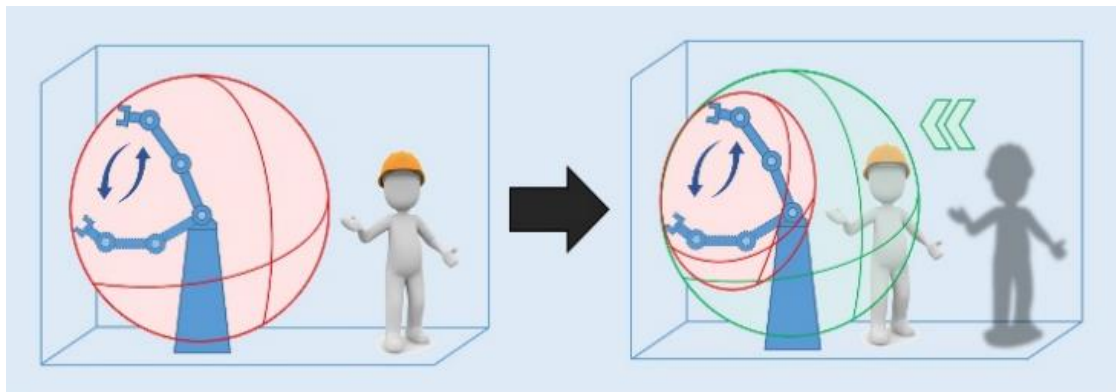
Devido a dependência humana, toda a cadeia de gerenciamento de riscos, bem como as análises preliminares de perigos, demanda muito esforço, muitas vezes de semanas (WU et al., 2013). Isso se deve à necessidade de analisar e gerar informações que em muitos casos são falhas, genéricas, redundantes e podem não contribuir significativamente com a mitigação e erradicação de perigos no ambiente de trabalho. Portanto, é necessário um nível de planejamento cuidadoso do processo, o qual em muitos casos pode se tornar mais complexo do que os tradicionais, demandando formas computacionais como auxílio nesta tarefa.

## **2.2. Segurança na Interação Humano-Máquina**

Segundo Luo e Mai (2019), manter a alta eficiência dos robôs enquanto se previne seres humanos de riscos e potenciais perdas causadas pelas máquinas se tornou algo extremamente importante. Neste sentido, normas para prevenir impactos negativos aos colaboradores em ambientes compartilhados e regulamentações industriais que seguem normas internacionais tiveram que incorporar essas questões a esses padrões (ROBLA-GÓMEZ et al., 2017). As normas contemplam os requisitos de segurança para robôs industriais, envolvendo medidas de proteção para eliminar ou reduzir, de forma adequada, os riscos associados a esses cenários.

Sabe-se que em ambientes compartilhados a interação humano-máquina não é algo simples e requer inúmeras alterações nos processos atuais para tornar a realização das atividades flexíveis, intuitivas e produtivas, bem como aceitável por parte dos seres-humanos (BELOUAER; BOUZID; MOUADDIB, 2010). A Figura 3, ilustra uma representação de ambiente compartilhado com IHM.

Figura 3 - Esquema representativo de um ambiente compartilhado.



Fonte: ROSENSTRAUCH e KRUGER (2018).

Além disso, esse tipo de colaboração e interação pode acarretar inúmeros riscos, pois um comportamento imprevisível do robô ou uma ação não intencional do ser humano pode alterar as causas e consequências do evento de risco. Assim, Rosenstrauch e Kruger (2017) citam os riscos mais comuns: colisão mecânica, gerando hematomas, cortes, apertos ou impactos, bem como riscos elétricos, térmicos ou riscos adicionais devido aos ruídos, vibrações, radiação, produtos químicos, entre outros. Portanto, a tentativa de identificá-los e categorizá-los é de grande importância.

Nas indústrias de manufatura robotizadas as tarefas desempenhadas pelas máquinas, em grande maioria, são repetitivas, representando um padrão recorrente de movimentos. A área total tomada por esses movimentos representa uma pequena parcela do ambiente compartilhado e é denominada área de operação, que pode ser vista em destaque na Figura 3. Porém, com a inserção de diferentes tarefas desempenhadas pelos robôs junto aos seres humanos, implicando diretamente em diferentes alcances na área de operação, mudanças nos requisitos de segurança precisam ser adotadas (ROSENSTRAUCH; KRUGER, 2018). Neste sentido, os robôs demandam as seguintes capacidades: de percepção do ambiente; da análise e tomada de decisão baseada em conhecimento; e, de realizar o raciocínio automatizado (BELOUAER; BOUZID; MOUADDIB, 2010). Desta forma, essas capacidades do robô permitem a identificação de riscos e tomadas de decisões a fim de mitigá-los.

Neste contexto, Robla-Goméz et al. (2017) propõe uma classificação dos sistemas de segurança no ambiente industrial colaborativo robótico, que tem por intuito incluir os objetivos perseguidos pelos sistemas de segurança, bem como os



sistemas de hardware e software empregados junto aos dispositivos utilizados e resumir as ações envolvidas em cada sistema de segurança. Nesta classificação, o termo Sistemas Ciber Físicos (SCF) engloba os recentes desenvolvimentos no âmbito da manufatura inteligente e nas implementações de sistemas de segurança robótico, que se beneficiam do uso de redes computadorizadas para manter dispositivos conectados.

Os SCF visam coletar e compartilhar informações durante todo o ciclo de vida de um processo no qual está inserido, gerando grandes quantidades de dados que podem ser guardados de forma descentralizada, mas permitindo o transporte e troca de informações entre as entidades envolvidas. Com isso, todo o ecossistema tecnológico envolvido deve ser capaz de compartilhar informações, de forma a agir e controlar os agentes de forma autônoma. Os SCF são resultados gerados diretamente dos avanços da indústria 4.0, do uso de internet das coisas e arquiteturas orientadas a serviços, gerando uma complexa rede integrada de sistemas embarcados, aplicações e infraestrutura, possibilitando a interação humano-máquina (THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Para atingir a capacidade de coleta e compartilhamento de dados, os robôs precisam perceber as mudanças no ambiente e reportá-las através das conexões de rede. Uma forma de tornar isso possível é fazer com que o controle desses robôs seja baseado no uso de sensores, como sensores de visão, de força e de distância, possibilitando ajustar dinamicamente o seu comportamento. Apesar de inúmeras tecnologias, duas classificações podem ser destacadas para o uso de sensores. A primeira consiste na utilização de sensores fixos no ambiente, tendo como referencial o robô no espaço, já a segunda consiste no uso de sensores montados diretamente nos robôs, limitando a questão de oclusão dos sensores quando fixos. Essa última configuração facilita o sensoriamento em locais não estruturados, uma vez que independe de estruturas externas (AVANZINI et al., 2014).

Não se limitando a apenas essas duas configurações, diversos tipos e combinações de sensores são utilizadas para tratar o assunto de segurança no ambiente compartilhado. Porém, essas estratégias demonstraram limitações tecnológicas nas taxas de dados dos sensores, bem como no tipo aplicado na implementação do sistema, sendo um ponto importante a ser analisado. Essas

limitações impactam diretamente no funcionamento em tempo-real que é buscado em sistemas de segurança que almejam garantir segurança na interação humano-máquina, pois ao se detectar uma pessoa próxima aos robôs no ambiente de trabalho, a taxa de velocidade do mesmo deve ser reduzida proporcionalmente ao nível de perigo detectado (ROBLA-GÓMEZ et al., 2017).

No presente contexto, fica evidente a importância da seleção de sistemas de segurança que previnam acidentes na Interação Humano-Máquina (IHM) (ROBLA-GÓMEZ et al., 2017). Para atingir este objetivo, A-IHamouz, El-Omari e Al-Naimat (2019) demonstram três principais passos que devem ser levados em consideração:

- **Análise de riscos:** refere-se ao tipo de dano que o colaborador pode sofrer, como colisões, choques elétricos.
- **Avaliação dos riscos:** refere-se ao nível de dano causado ao colaborador, embora isso possa ser extrapolado para os robôs.
- **Redução dos riscos:** refere-se à antecipação de uma situação perigosa, sem levar ao desligamento do robô, mantendo uma taxa de produção aceitável.

Em um detalhamento mais profundo, Robla-Gómez et al., (2017) aborda principais formas de mitigar riscos, incluindo o nível de dano ocasionado ao colaborador, principalmente devido às colisões, o que é um objeto de interesse deste presente trabalho. Assim, três grandes tópicos são discutidos, que são: 1) Nível de dano causado pela colisão; 2) Minimização de danos em colisões humano-máquinas; 3) Prevenção de colisão.

O primeiro tópico possui duas abordagens, apoiadas por diferentes pontos de vista, sendo que o primeiro trata a capacidade máxima de se tolerar a dor e o segundo, o nível de dano após uma determinada colisão. Já o segundo tópico busca minimizar eventuais danos onde colisões são inevitáveis, para tanto, sistemas de *compliance* e estratégias de segurança envolvendo detecção de colisão/contato são desenvolvidos. Por fim, o terceiro tópico é uma importante etapa, pois embora minimizar os danos em caso de colisão humano-máquina sejam importantes, preveni-los torna-se o principal atrativo.

## 2.3. Web Semântica

A Web Semântica permite explicitar descrições de coisas – ou de algo – de uma forma estruturada para garantir o entendimento por parte dos humanos e das máquinas. Segundo Mokos et al. (2010), as técnicas da Web Semântica permitem resolver problemas relacionados à representação do conhecimento através de padrões, ferramentas e linguagens para informações anotadas, conhecidas como metadados. Outro aspecto importante das técnicas da Web Semântica é a possibilidade de inferir relações a fim de descobrir novas relações dentro do contexto, sendo que o termo “inferir” representa a capacidade de procedimentos automáticos gerarem novas relações baseados nos dados disponíveis e em um conjunto de regras (REDAVID; CORIZZO; MALERBA, 2018).

A Web Semântica foi proposta como uma extensão da atual Web e fornece facilidades para encontrar, compartilhar, reusar e combinar informações. Além disso, El Asikri et al. (2016) mostra a área categorizada em três principais ideias:

- **Formato padronizado:** A Web Semântica propõe padrões para garantir uma representação uniforme do conhecimento;
- **Conhecimento padronizado:** Facilita o compartilhamento do conhecimento na forma de ontologias;
- **Serviços compartilhados:** Através de *web services* é possível comunicação entre diferentes plataformas, permitindo interoperabilidade.

Neste contexto, abordagens que utilizam ontologias possibilitam a aquisição de informações essenciais, permitindo às máquinas o entendimento e inferências acerca das relações do domínio (LIU; LI, 2018). Sua aplicação é comum em domínios específicos considerando características bem definidas do ambiente, bem como terminologias, tecnologias, dispositivos e funcionalidades de objetos inteligentes (PODGÓRSKI et al., 2017).

### 2.3.1. Ontologia

O termo ontologia é definido na filosofia como sendo uma maneira sistemática de descrever a essência de algo ou de alguma coisa (TAN; YEW; LOW, 2012;

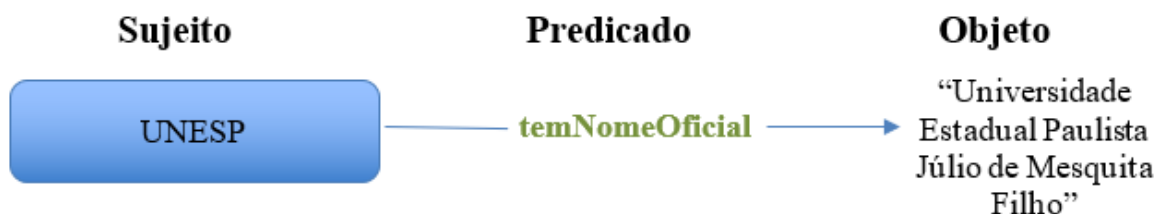
PODGÓRSKI et al., 2017), e tem sido adotado nas áreas de Web Semântica (SAEED et al., 2015), pois busca descrever formalmente a conceitualização de um domínio específico, ou seja, o conhecimento sobre o domínio (TAN; YEW; LOW, 2012). O conhecimento definido em uma ontologia é uma estrutura sistêmica e hierárquica, tendo relações lógicas e regras de inferências (LIU; LI, 2018).

Uma ontologia é definida como sendo um método de representar esse conhecimento, seja acerca de ideias, coisas, fatos, a fim de definir as relações e classificações do domínio em questão (ZALETELJ et al., 2018) sem ambiguidade. Além disso, tem como papel facilitar a organização do domínio e integração entre seus dados, uma vez que grande parte das aplicações que utilizam Web Semântica são baseadas em acessar e integrar dados em diversos níveis (SAEED et al., 2015).

Estruturalmente, uma ontologia é um conjunto de triplas que segue o modelo de sentenças da linguagem natural, representadas por meio de Sujeito, Predicado e Objeto (USCHOLD; DING; GROWTH, 2018). A Figura 4 busca ilustrar um exemplo destas relações. Os conceitos são abordados abaixo:

- **Sujeito:** refere-se a coisa sobre a qual algo é dito, no exemplo da Figura 4, o sujeito é “UNESP”;
- **Predicado:** corresponde a maneira que duas coisas estão relacionadas, o predicado é “temNomeOficial”;
- **Objeto:** indivíduo ou literal que está vinculado ao sujeito por meio do predicado, sendo que quando o objeto é literal, considera-se um “valor”, o objeto é o literal “Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho”.

Figura 4 – Representação de uma declaração em forma de tripla.



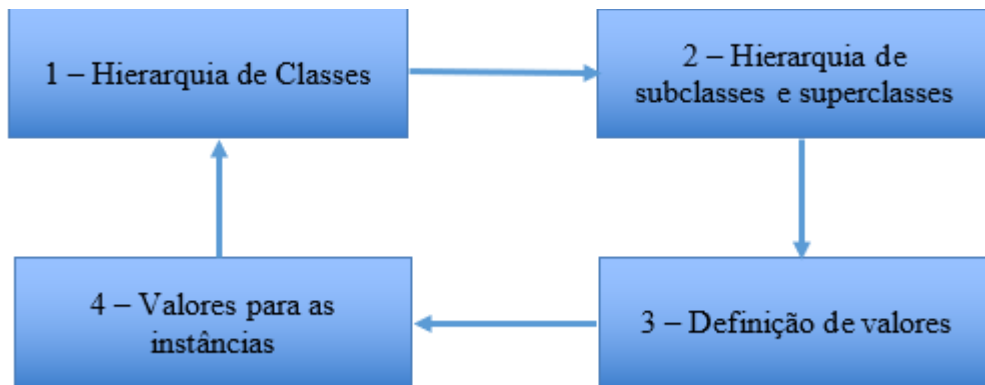
Fonte: Elaborado pelo autor.

Noy e McGuinness (2001) definem 7 passos para a construção de ontologias, guia conhecido como Método de Desenvolvimento 101.

- 1) Determinar o domínio e o escopo da ontologia;
  - a. Considerar o reuso de ontologias existentes;
  - b. Enumerar importantes termos na ontologia;
  - c. Definir classes e a hierarquia dessas classes;
  - d. Definir as propriedades das classes;
  - e. Definir a cardinalidade de propriedades;
  - f. Criar as instâncias.

Porém, Khan e Kumar (2014) demonstram que a confecção de uma ontologia, na prática, segue 4 passos, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Passos de desenvolvimento de ontologia.



**Fonte:** Adaptado de Khan e Kumar, 2014.

Para construir uma ontologia é necessário ter um modelo descritivo do cenário de interesse de forma a garantir suporte para um raciocínio automático (USCHOLD; DING; GROWTH, 2018). Assim, sua representação pode ser feita utilizando a linguagem OWL (*Ontology Web Language*) (FARFELEDER et al., 2011), linguagem baseada em lógica formal que é um padrão para implementação de ontologias amplamente utilizado nas áreas acadêmica e industrial (USCHOLD; DING; GROWTH, 2018). Tal linguagem possibilita técnicas de raciocínio automático nas aplicações ao permitir derivações lógicas que relacionam membros de classes, equivalência entre classes, consistências de ontologias e classes enumeradas (MOKOS et al., 2010). Por fim, Redavid, Corizzo e Malerba (2018) enfatizam que a semântica formal da OWL de uma ontologia envolve fatos que não estão presentes na ontologia explicitamente.

A linguagem OWL é a linguagem padrão para a implementação de ontologia e foi proposto pela W3C (ESCOBEDO; PAÚL, 2008) sendo uma linguagem de descrição rica para representar propriedades e classes, como relações entre as classes (e.g., disjunção), cardinalidade (e.g., “exatamente uma”), igualdade, descrição mais rica das propriedades, entre outras (MOKOS et al., 2010). Em suma, para que seja possível construir um bom modelo do domínio, a linguagem OWL deve fornecer, conforme abordado em Uschold, Ding e Growth (2018):

- 1) Coisas individuais;
- 2) Tipos de coisas, sendo que alguns tipos não se sobrepõem;
- 3) Um indivíduo é uma instância de certo tipo de coisa;
- 4) Tipos de coisas mais específicas e mais genéricas;
- 5) Relação entre as coisas;
- 6) As coisas possuem atributos com valores literais.

Na literatura há três principais categorias de ontologias, especificadas de acordo com o nível de generalização, são as seguintes:

- **Ontologias genéricas**, que visam descrever conhecimentos gerais independentes de domínio;
- **Ontologias de domínio**, utilizam os conceitos das ontologias genéricas e descrever domínios da ciência e tecnologia; Zhou (2017) demonstra que esta categoria visa representar conceitos, relações e axiomas do domínio em questão;
- **Ontologias de aplicação**, utilizam conceitos da ontologia de domínio e buscam descrever o conhecimento necessário para uma aplicação em específico (PODGÓRSKI et al., 2017).

Portanto, Chi, Lin e Hsieh (2014) reforçam que as ontologias são capazes de representar requisitos sobre entidades do tipo “atividades”, “riscos” e “segurança”, da área de SSO e APR. Além disso, as ontologias são aplicadas na área de sensores e máquinas, como é o caso da Semantic Sensor Network, apresentada na próxima seção.

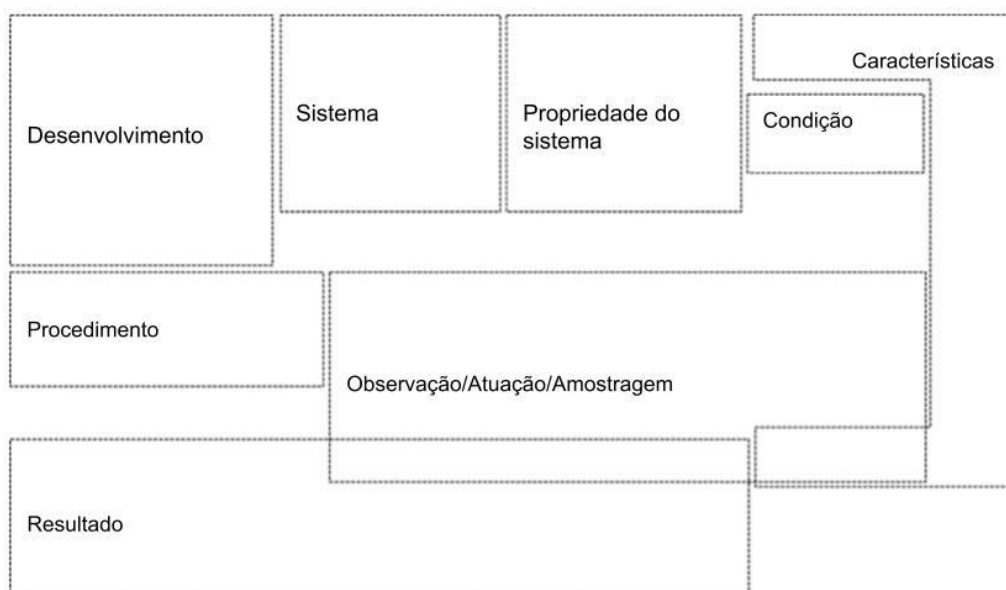
### 2.3.1.1. Ontologia SSN - Semantic Sensor Network

A ontologia Semantic Sensor Network (SSN), proposta em Compton et. al (2012), busca descrever as capacidades e propriedades dos sensores, ações de sensoriamento e os resultados de suas observações. Essa ontologia é mantida pelo consórcio W3C e passa por constantes atualizações. Sua última versão visa expandir o padrão *Stimulus Sensor Observation* (SSOb), desenvolvido a fim de oferecer um padrão suficiente para o uso no contexto semântico de sensores (W3C).

Neste contexto, as últimas atualizações da ontologia SSN possibilita a inserção de conceitos gerais a nível de entidades, como: robôs manipuladores e demais maquinários presentes no ambiente industrial. A Figura 6 ilustra os conceitos gerais da ontologia, os quais podem ser relacionados da seguinte forma:

- Sistema pode conter subsistema e desenvolvido em uma plataforma; Tais sistemas utilizam procedimentos que podem conter entradas e saídas, bem como exercer ações – Observação, Atuação e Amostragem – e apresentar características;
- Plataformas hospedam sistemas;
- Ações executadas possuem resultados.

Figura 6 - Módulos gerais da ontologia SSN.



**Fonte:** Adaptado de W3C, acesso em: <<https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>>.

Contudo, observa-se que a SSN não é capaz de descrever situações envolvendo riscos, sendo, neste caso, necessário o uso de uma ontologia específica para este contexto. Por fim, a próxima seção apresenta as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

## 2.4. Ferramentas

Esta seção tem por objetivo apresentar os aspectos conceituais das principais ferramentas utilizadas no desenvolvimento do presente trabalho. Desta forma, são destacadas as ferramentas Protégé, Apache Jena e o simulador CoppeliaSim.

### 2.4.1. Protégé

O software Protégé<sup>1</sup> é um editor de ontologias de código aberto e um framework para construção de sistemas inteligentes. O software oferece uma arquitetura de plugins que pode ser adaptada na construção de aplicativos simples e complexos utilizando ontologias. Além disso, permite realização de ciclo de raciocínios de forma automatizada e possui total suporte com linguagens OWL e RDF.

Neste contexto, um raciocinador utilizado no software Protégé é o HermiT Reasoner<sup>2</sup>, o qual é capaz de determinar se a ontologia modelada em OWL é consistente ou não, bem como identificar relações entre classes e indivíduos.

### 2.4.2. Framework Apache Jena

O Apache Jena<sup>3</sup> um framework de código aberto e livre, desenvolvido em Java, que permite a construção de aplicações utilizando conceitos da web semântica. É composto por diferentes interfaces de programação que auxiliam na interação e processamento de modelos de dados em RDF e OWL. Além disso, oferece a persistência de dados utilizando o modelo de dados em RDF e OWL, a consulta de dados utilizando a linguagem SPARQL. O uso dos recursos disponíveis no framework Apache Jena é feito através da linguagem de programação Java<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> <https://protege.stanford.edu/>

<sup>2</sup> <http://www.hermit-reasoner.com/>

<sup>3</sup> [https://jena.apache.org/getting\\_started/](https://jena.apache.org/getting_started/)

<sup>4</sup> <https://www.java.com/pt-BR>



### 2.4.3. Simulador CoppeliaSim

Os cenários apresentados neste trabalho foram confeccionados no simulador CoppeliaSim<sup>5</sup> e ilustra o contexto de ambiente compartilhado humano-máquina. O simulador é uma plataforma que permite a criação de modelos e cenas compostas com a possibilidade de controle de código que suporta inúmeras linguagens de programação. Além disso, possui cálculos cinemáticos de variados tipos de mecanismos, detecção de colisão e cálculos de distância.

O CoppeliaSim permite simular diferentes sensores, incluindo de visão e de proximidade, bem como permite a criação de atuadores e sistemas robóticos complexos e possui cálculos capazes de simular a física do mundo real e a interação entre objetos, suportando também planejamento de trajetórias e locomoção. Sendo assim, o simulador oferece meios para a criação de um contexto que envolve IHM.

Por fim, o próximo capítulo tem por objetivo apresentar trabalhos relacionados às áreas de ontologias para o contexto de riscos, bem como trabalhos relacionados ao contexto de segurança na IHM.

---

<sup>5</sup> <https://www.coppeliarobotics.com/>

### 3. TRABALHOS CORRELATOS

Neste capítulo são apresentadas abordagens que utilizam ontologias para a descrição do contexto de risco e suas variáveis. Além disso, é apresentado as abordagens cuja interação humano-máquina é tratada no contexto de segurança.

A seção Ontologias de Riscos visa destacar contribuições que possam representar o contexto de riscos não se limitando à uma atividade em específico, podendo ser aplicadas e/ou estendidas para demais áreas. Na seção Segurança na Interação Humano-Máquina busca detalhar soluções relacionadas ao presente trabalho e que se propõem a garantir segurança no contexto deste tipo de interação, não necessariamente utilizando conceitos formais de ontologias.

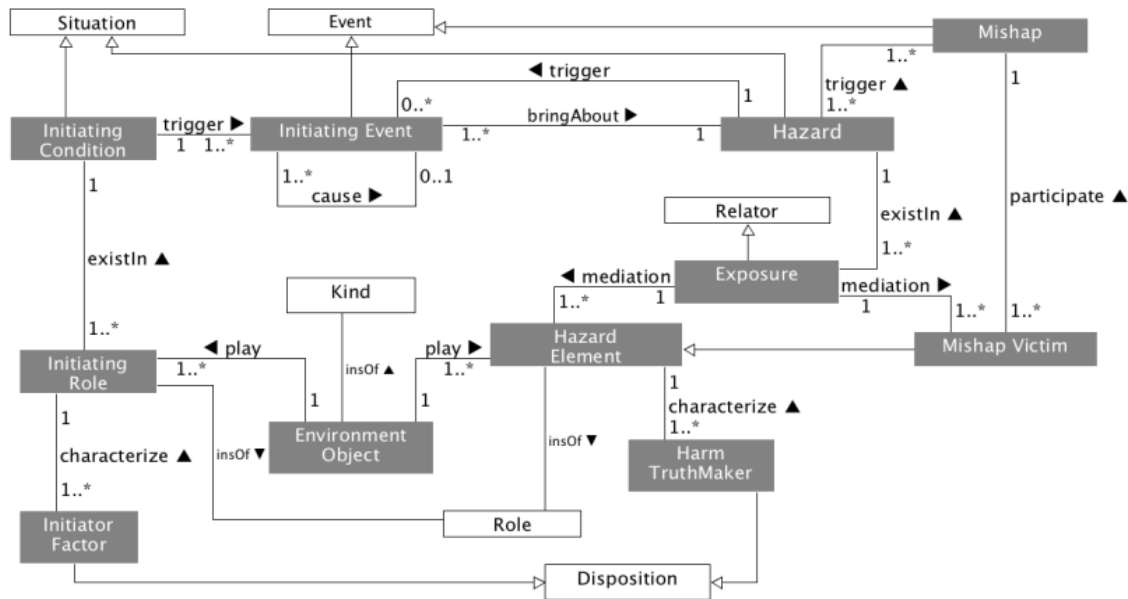
#### 3.1. Ontologias de Riscos

Conforme apresentado na Seção 2.1, a área de SSO tem evoluído ao passo que as tecnologias têm avançado rapidamente nos mais diversos setores da indústria de manufatura, caracterizada pela Indústria 4.0. Com isso, a área de APR contém abordagens não convencionais que visam garantir o entendimento total sobre as variáveis presentes nos ambientes de trabalho compartilhados. Nas próximas subseções são discutidas algumas dessas abordagens.

##### 3.1.1. Hazard Ontology

Zhou (2017) propõe uma ontologia, denominada *Hazard Ontology*, que visa definir uma interpretação sobre o conceito de risco, bem como representar o conhecimento dos perigos e suas relações com processo de análise e o ambiente externo. O autor propõe uma ontologia, conforme Figura 7, com novos conceitos e reutilizando outros baseados na ontologia UFO (*Unified Foundational Ontology*), representados pelas caixas brancas, uma ontologia fundamental que, dentre outros conceitos, tratam importantes conceitos relacionados aos riscos, tais como: **Situation**, **Event**, **Disposition** e **Kind/Role**.

Figura 7 - Diagrama UML Hazard Ontology.



Fonte: Zhou (2017).

A principal ideia da ontologia proposta por Zhou (2017) é estar em sintonia com a definição mais ampla utilizada sobre riscos no contexto da área de Segurança e Saúde Ocupacional. Esta definição é basicamente caracterizada por duas situações:

1. Um perigo definido por um conjunto de estados que podem levar a uma situação de risco – **Hazard** é um tipo de **Situation**;
2. O conjunto de estados presentes nessa situação podem levar a inúmeras consequências, como um acidente – **Hazard triggers Mishap**. Sendo assim, ele adota que as principais partes envolvidas em uma situação de risco são: **Mishap Victims, Harm Truthmaker, Hazard Elements e Exposures**.

Um acidente – **Mishap** – é um evento que possui resultados de perda, seja em termos de pessoas, financeiros ou danos no ambiente. A seguir, é apresentada uma síntese das partes envolvidas em uma situação de risco.

- **Harm Truthmaker**: Representa os efeitos prejudiciais ou críticas de um perigo.
- **Hazard Elements**: Representam papéis – **Role** – de objetos que causam danos. Esses papéis podem ser desempenhados por vários tipos – **Kind** – de objetos.
- **Mishap Victim**: É um sub-conceito de **Hazard Elements**. É um objeto

que tem como papel – **Role** – não possuir danos ou injúrias, mas tem potencial.

- **Exposures:** Representa a relação de uma vítima e seus danos, causados por estarem expostos aos objetos **Hazard Elements**.

Além disso, utilizando as relações fundamentais disponibilizadas pela ontologia UFO, tem-se as relações causais *bring about* e *trigger*, exibidas na Figura 7. Essas relações envolvem eventos e situações que definem o risco como sendo algo causado por ao menos um evento inicial, sendo que tal evento é algo inesperado e que resulta em uma situação perigosa.

No trabalho de Zhou (2017) há também uma proposta de desenvolvimento de uma linguagem própria para a ontologia *Hazard Ontology*, denominada *Hazard Modeling Language* (HML). Esta linguagem possibilita uma forma estruturada de descrever os perigos, quais elementos compõem essa situação, e como diferentes elementos contribuem para esse ou novas situações perigosas.

### 3.1.2. Hazardous Situation Ontology

Lawrynowicz e Lawniczak (2015) propõem uma ontologia, cujo nome é *Hazardous Situation*<sup>6</sup>, inspirada na definição de risco proposta pela norma OHSAS 18001:2007, que trata sobre riscos, situações perigosas e riscos ocupacionais.

A Figura 8 representa o modelo conceitual proposto na ontologia, relacionando situações perigosas – **HazardousSituation** – como sendo a participação de ao menos um evento perigoso – **HazardousEvent**, o qual envolve pelo menos um objeto – **Object** – que oferece um potencial exposição ao perigo – **Hazard**. Além disso, um evento perigoso possui causas, consequências e um intervalo de duração. Os detalhes dos termos das relações entre as classes da ontologia são descritos a seguir.

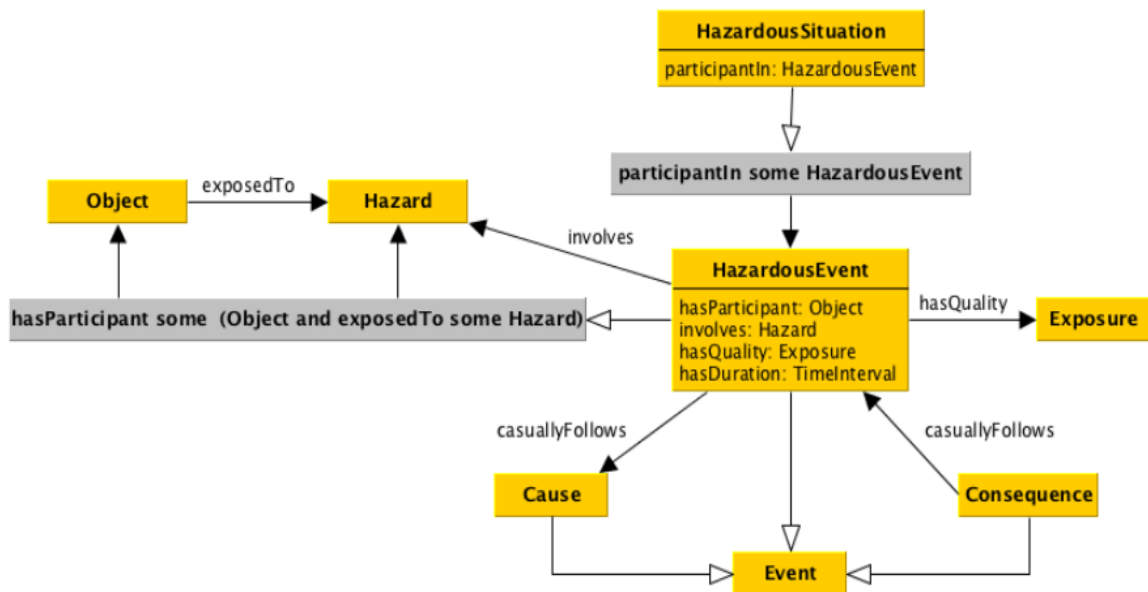
- **HazardousSituation** tem participação (*participantIn*) de algum evento perigoso **HazardousEvent**;
- **HazardousEvent** tem alguma exposição (*hasQuality*) **Exposure**;

---

<sup>6</sup> <http://ontologydesignpatterns.org/wiki/Submissions:HazardousSituation>

- **Consequence** é devido a um evento perigoso (*casuallyFollows*) **HazardousEvent**;
- **HazardousEvent** possui alguma causa (*casuallyFollows*) **Cause**;
- **Event** um evento possui um intervalo de tempo (*hasDuration*) **TimeInterval**;
- **Object** há algum objeto exposto ao perigo (*exposedTo*) **Hazard**.

Figura 8 - Diagrama da ontologia Hazardous Situation.



Fonte: Lawrynowicz e Lawniczak, 2015.

Lawrynowicz e Lawniczak (2015) buscam, através da ontologia proposta, responder os seguintes aspectos sobre os cenários de riscos: qual objeto (equipamento, pessoas, sistemas) está exposto ao perigo; que tipo de perigo está exposto um objeto; quais eventos perigosos são associados às situações perigosas; qual é a causa do evento perigoso; qual é a consequência desse evento; qual é o valor da exposição de um objeto sendo exposto ao perigo.

Neste contexto, os autores propõem um estudo de caso para a abordagem, considerando um cenário da agricultura. O cenário é descrito como sendo um fazendeiro aplicando pesticidas nos campos que pede ajuda a um trabalhador para carregar os pesticidas e recipientes de armazenamento. Neste caso, ambos não estão utilizando equipamentos de segurança e, após algumas horas, o trabalhador desenvolve uma irritação na pele. Considerando este cenário e relacionando-os às

classes do diagrama da ontologia da Figura 8, a classe **Object** possui indivíduos como fazendeiro e trabalhador; a **HazardousSituation** está relacionada ao menos dois **HazardousEvent**, sendo os dois indivíduos expostos ao pesticida; a **Cause** é dada pela falta de uso de equipamentos de proteção e tem **Consequence** um dano à pele.

### 3.1.3. Ontology of Safety and Health

Lawrynowicz e Lawniczak (2016) também propõem a ontologia *Safety and Health* (OSHDO-Core), uma abordagem mais ampla se comparado com a ontologia Hazardous Situation Ontology, proposta por Lawrynowicz e Lawniczak (2015), uma vez que envolve conceitos de saúde, como doenças ocupacionais, além das ameaças danosas que situações perigosas podem oferecer.

Esta ontologia leva em consideração a distinção entre risco e perigo, uma vez que existem regiões com regulamentações que definem as diferenças entre os termos, neste caso, baseada na norma OHSAS 18001. Assim, um perigo é tratado como uma componente de um risco, ou seja, para que se tenha um risco real há a necessidade de se ter uma exposição ao perigo. Dentro desta abordagem, a entidade **OccupationalHazard** é a dominante e é definida como sendo algo que tem potencial para causar danos, sejam eles de ferimento ou de saúde (**OccupationalDisease**).

Além disso, tratam todas as relações de um possível evento perigoso, suas causas e consequências, podendo essas serem uma ou mais. Adicionam também a identificação do perigo (**HazardIdentification**), uma vez que pode ser causado por inúmeras fontes, tais como: elétricas, radioativas, físicas, térmicas.

Baseado na definição de que risco, sendo a relação direta entre perigo e exposição a ele, tem-se o termo **OccupationalExposureLimit**, caracterizando o tempo limite aceitável de exposição a uma substância perigosa. Essa ontologia relaciona também as medidas corretivas (**PreventiveAction**) e preventivas (**CorrectiveAction**) dos acidentes já ocorridos, entre outras classes importantes da área de gestão de riscos, como prevenção e estratégias.

### 3.1.4. RAMIRES

Teimourikia e Fugini (2016) propõem uma ferramenta, denominada RAMIRES, que implementa em tempo de execução as práticas do gerenciamento de risco em

ambiente ditos inteligentes, que possuem sensoriamento e possuem infraestrutura avançada para aplicar técnicas baseadas em IoT, serviços semânticos, entre outros. Assim, a ferramenta RAMIRES (*Risk-Adaptive Management in Resilient Environments with Security*) apresenta um painel de controle de gerenciamento de segurança, implementado baseado na metodologia MAPE-K (*Monitor-Analyze-Plan-Execute and Knowledge*), que oferece uma interface de comunicação com informações relevantes sobre de riscos, suportando aos times de gestão de segurança.

RAMIRES segue o modelo de definição de riscos definidos pela norma ISO 31000:2009, apresentada na seção de Análise Preliminar de Riscos deste trabalho. Baseado nisso, o foco da ferramenta é na área estratégica de prevenção de riscos. Por ser uma proposta que visa unificar a gestão de segurança, fora dividida em quatro grandes objetivos, que são:

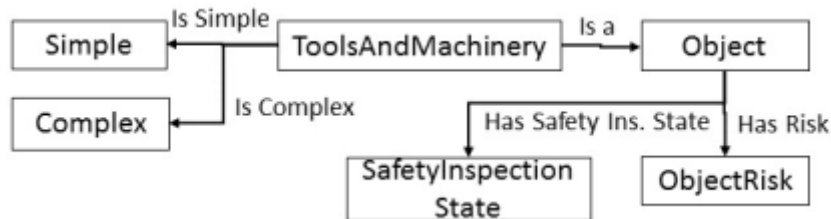
- O1.** Definir uma ontologia capaz de representar o contexto da segurança em ambientes inteligentes através de classes genéricas (i.e., trabalhadores, ferramentas, maquinários, atividades) e as relações entre essas classes e eventos perigosos, bem como causas e consequências e prevenção de riscos.
- O2.** Definir um modelo abstrato do sistema através da especialização das classes da ontologia, criando instâncias relacionadas ao cenário industrial específico.
- O3.** Identificar formas de instanciar em tempo de execução as classes resultantes do *reasoner* da ontologia.
- O4.** Especificar uma forma de analisar o modelo a fim de aplicá-lo no gerenciamento da segurança.

Dentre os objetivos propostos, a ontologia definida no objetivo **O1** é apresentada com mais detalhes. Dessa forma, o conhecimento descrito na ontologia proposta possui as seguintes entidades: **Subject**; **Object**; **Environment** e **Activities**. **Subject** correspondem aos trabalhadores inseridos no ambiente. Sendo assim, **Subject** possui (*hasSkill*) **Skill**, (*hasRole*) **Role** e (*ImproveWith*) **Experience**.

A Figura 9 mostra a entidade **Object**, que representa ferramentas específicas e maquinários dentro do contexto do ambiente. Tais ferramentas e maquinários

podem ser utilizados pela classe **Subject**, a fim de realizar atividades. Além disso, dependendo da tarefa a ser realizada, a complexidade empregada no objeto da classe pode ser simples, como: plugs, fios e motores simples; ou da classe complexa, como: caminhões, tratores, conseqüentemente, representando um risco ao trabalhador conforme sua composição.

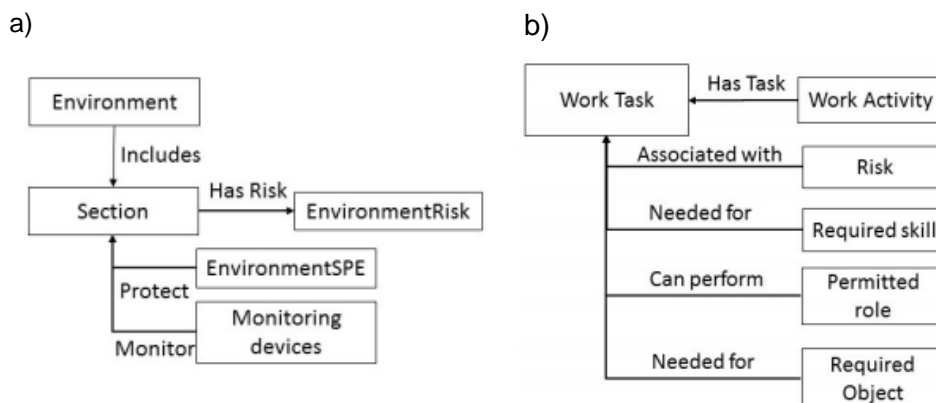
Figura 9 - Entidade Object na ontologia proposta.



Fonte: Teimourikia e Fugini (2016).

A Figura 10a representa o ambiente ou cenário onde há perigos ou características específicas do contexto que podem gerar potenciais riscos. Uma entidade **Environment** pode incluir seções baseada nos potenciais riscos que diferentes configurações podem apresentar; nos elementos de proteção disponíveis nas seções; e nos seus sensoriamentos e monitoramentos.

Figura 10 - Entidade Environment na ontologia proposta.



Fonte: Teimourikia e Fugini (2016).

A Figura 10b apresenta uma atividade – **Activities** – que pode ser desempenhada pelo trabalhador, portanto, atividades podem ter diferentes tarefas que demandam diferentes objetos, habilidades e representam diferentes riscos.



### 3.1.5. Methontology

Tan et al. (2012) propõem um ciclo de desenvolvimento para ontologias focadas na área de gerenciamento de segurança. Para tanto, dividem o processo em 4 estágios, o primeiro é focado em identificar como a ontologia será construída, qual seu escopo e utilização. O segundo estágio é baseado em definir conceitualmente a ontologia. Para tanto, é necessário coletar dados, entender processos, organizar e identificar os termos conhecidos e transformá-los em um formato representativo para, posteriormente, ter como saída um modelo conceitual mais em definido e explicitamente representado. O terceiro estágio envolve a transformação do modelo conceitual em um modelo formal, ou seja, um modelo preparado para ser implementado. Por fim, o quarto estágio é a implementação da ontologia de fato, utilizando alguma linguagem de ontologia e ferramentas.

O trabalho visa demonstrar uma ontologia confeccionada no contexto de análise de riscos. Segundo Tan et al. (2012), a escolha deste tópico é baseada no fato da área abordar elementos que são influenciados por fatores humanos. As relações das classes da superclasse **E3\_ProcessHazardAnalysis**, proposta pelos autores, são demonstradas na Tabela 1, dentro relacionamento como “é-um”.

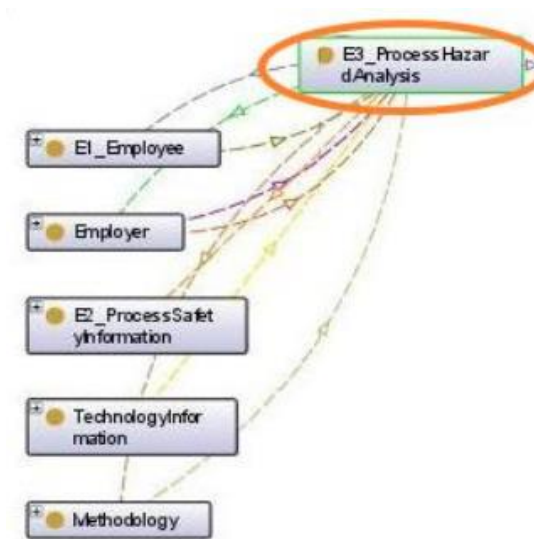
**Tabela 1 - Relação entre as classes e subclasses da ontologia.**

Nível	Superclasses	Subclasses
1	<i>ProcessHazardAnalysis</i>	<i>Document</i>
2	<i>Document</i>	<i>ActionPlan; FindingsAndRecommendations; SchedulePlan</i>
3	<i>FindingsAndRecommendations</i>	<i>FacilitySitting; HumanFactors; ProcessHazards; QualitativeEvaluation_ControlsFailure; Engineering&amp;AdminControls</i>
4	<i>Engineering&amp;AdminControls</i>	<i>DetectionMethods; FailureConsequences</i>
5	<i>DetectionMethods</i>	<i>ControlInstrumentation; DetectionHardware; ProcessMonitoring</i>
6	<i>FailureConsequences</i>	<i>Equipment; Stream</i>

**Fonte:** Tan, Yew e Low (2012)

A ontologia proposta também possui relações com outras classes, uma vez que o foco é implementar o conceito de análise de riscos dentro do contexto de gerenciamento de processos de segurança. Assim, informações acerca do ambiente, dos colaboradores, de processos e das tecnologias empregadas são necessários. Assim, Tan et al. (2012) visam relacioná-los com a superclasse **E3\_ProcessHazardAnalysis**, conforme ilustrado na Figura 11. As descrições das entidades, relações e alcances que a ontologia se propõe são demonstradas na Tabela 2.

Figura 11 - Relações de outras entidades com a PHA via OntoGraf.



Fonte: Tan, Yew e Low (2012)

Tabela 2 - Descrição de cada propriedade relacionada às entidades.

Domínio	Relação Propriedade	Range
Methodology	"is-a"	FMEA; Checklist; "What-if"
Methodology	"has addressed" "is addressed by"	Investigação de incidentes; Engenharia e controle administrativo; Processos de riscos; Fatores humanos
Methodology	"is used method by"	E3_PHA
E1_employee	"has access to trade secret"	E3_PHA
E3_PHA	"compliance with"	E2_ProcessSafetyManagement
Employer	"has implemented"	E3_PHA

<b>Employer</b>	<i>“is communicate to”</i> <i>“has communication on from”</i>	E3_PHA
<b>TechnologyInformation</b>	<i>“is developed in conjunction with”</i>	E3_PHA

Fonte: Adaptado de Tan, Yew e Low (2012)

### 3.1.6. Síntese dos Trabalhos

Os trabalhos abordados nesta seção buscam mostrar a capacidade do uso de ontologias para descrever o contexto de segurança. Sendo assim, é evidente que essa abordagem consegue possibilitar maior expressividade dos conceitos relacionados ao assunto se comparado aos métodos tradicionais, garantindo uma forma padronizada e bem estruturada de relacioná-los, além de possibilitar o uso computacional para este fim.

A Tabela 3 demonstra um comparativo entre as abordagens. Os requisitos escolhidos buscaram levar em consideração o tipo de ontologia proposta, a capacidade de extrair a classificação do risco, se é possível definir indivíduos como maquinário e colaborador, e se a confecção é baseada em normas. Assim, ficou evidente que as abordagens se propuseram a descrever a fonte do risco e quem sofrerá o dano, bem como a classificação do risco, o que é um objeto de interesse do presente trabalho.

**Tabela 3 - Síntese das abordagens de ontologias de riscos apresentadas.**

Abordagens	Modelo Conceitual (Norma)	Normas	Colaborador	Máquina	Classificação do risco	Tipo
Hazard Ontology	UFO (Unified Foundational Ontology)	X	X	X	X	Domínio
Hazardous Situation Ontology	OHSAS 18001:2007	X	X		X	Aplicação
Ontology of Safety and Health	OHSAS 18001:2007	X	X	X	X	Domínio
Ramires	ISO 31000:2009	X	X	X	X	Domínio
Methontology	Não especificada.		X	X	X	Domínio

Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste contexto, a maioria das propostas apresentadas pelos autores se mostraram sólidas e baseadas em normas, garantindo que seu uso possa ser aplicado em ambientes reais. Porém, levando em consideração a capacidade de expressividade das ontologias de descrever e relacionar maquinários industriais ao contexto da interação humano-máquina, não há abordagens significativas. Apesar das ontologias propostas permitirem definir indivíduos como sendo equipamentos e dispositivos robóticos, o poder de descrição se limita a apenas isso, o que torna necessário a inclusão de uma ontologia de outro domínio, como a de sensores e demais dispositivos.

Também, é visto que uma ontologia não generalista – do tipo de aplicação, que visa um contexto restrito de potenciais riscos, causas e consequências, como é a proposta de Lawrynowicz e Lawniczak (2015), é capaz de ser inserida em um contexto de segurança na interação humano-máquina e permite extensão, de forma a não sobrepor termos e relações, com ontologias que visam descrever robôs e sensores. Dessa forma, o seu uso se mostra viável em uma integração com outra ontologia de contexto de máquinas e sensores.

### **3.2. Segurança na colaboração Humano-Máquina**

Como introduzido na Seção 2.2, a busca por garantir a segurança neste tipo de interação aumentou nas últimas décadas dado que a inserção de robôs em ambientes que até então eram dominados apenas por seres-humanos cresceu. Sendo assim, abordagens de diversas áreas se propuseram a contribuir com esse objetivo e são apresentadas nas próximas subseções.

#### **3.2.1. Controle de segurança baseado em sensores de distância**

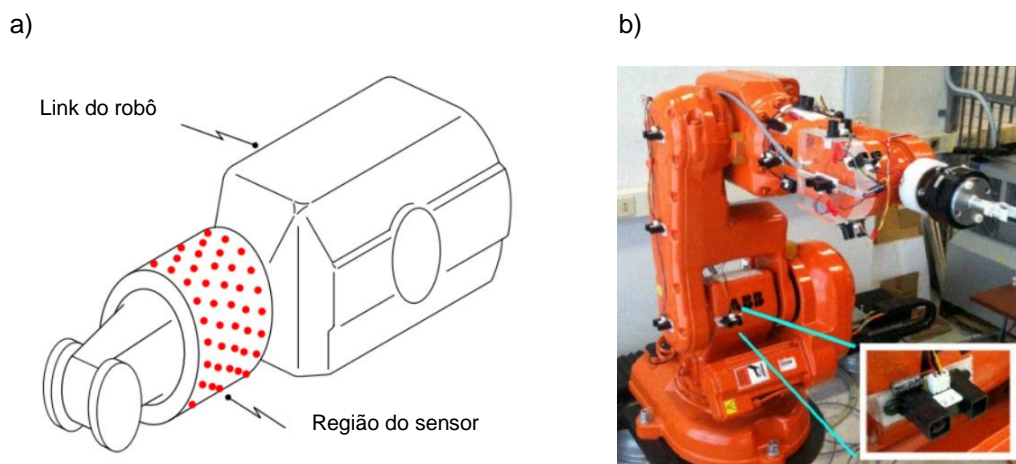
Avanzini et al. (2014) propõe uma arquitetura que visa melhorar a segurança de seres humanos em ambientes industriais colaborativos junto aos robôs manipuladores lidando com a prevenção de colisões entre essas entidades. Tal abordagem pode ser estendida e integrada com cenários genéricos, levando em consideração possíveis impactos e cooperação física humano-máquina. Para tanto, propõem uma distribuição de sensores de distância fixada na estrutura do robô,

descrevendo isso como sendo parte de uma abordagem de controle de estratégia ativa que visa evitar colisões ao detectar humanos.

O trabalho de Avanzini et al. (2014) tem como principais contribuições a melhor configuração possível de distribuir os sensores fixados no robô, um detalhamento sobre a implementação do hardware dos sensores, estratégia de controle que busca explorar o que é denominado de campos perigosos, entre outros aspectos. Segundo os autores, campos perigosos são definidos como uma quantidade escalar que expressa o quanto um estado específico de movimento do robô – levando em consideração posição e velocidade – é perigoso em relação a um ponto genérico no espaço de trabalho do robô. Junto desta técnica, é necessário o uso de sensores fixados ao redor do robô.

A distribuição dos sensores pela superfície do robô, constituindo um tipo de pele sensorizada, é coberta por  $n_{spots}$  – representando o número de sensores chamados *spots*. Cada *spot* pode detectar objetos que cruzam sua direção e mensurar a distância correspondente. A Figura 12a, a seguir, ilustra o modelo conceitual da distribuição dos *spots*. Já a Figura 12b mostra o robô real equipado com os sensores fixados através de sua superfície.

Figura 12 - Modelo conceitual da distribuição de sensores.



Fonte: AVANZINI et al. (2014)

A fim de garantir a melhor distribuição dos sensores sobre a superfície do robô, Avanzini et al. (2014) destaca que é necessário ter acesso a todas as áreas do robô, através de um modelo computadorizado, para que seja necessário inserir uma malha

igualmente espaçada com os nós sobre a superfície para determinar possíveis posições dos sensores. Assim, através de um modelo matemático, representado por uma função custo capaz de fornecer quanto um sensor fixado em  $y$  detecta obstáculos, fornece informações mais precisas de quanto o robô é perigoso com relação ao objeto detectado. Além disso, a proposta abordada pelos autores possibilita computar um número mínimo de *spots* (e seus melhores posicionamentos) que são capazes de garantir uma certa probabilidade de detectar qualquer obstáculo no espaço de operação do robô. Com isso e aliado às estratégias de cinemática, uma estratégia de controle é sugerida.

Para auferir resultados, uma simulação foi realizada utilizando 20 sensores de distâncias do tipo diodos emissores de luzes infravermelho (LED) baseado no resultado do modelo matemático. Assim, em configurações aleatórias quanto à posição do robô e do ser humano no ambiente, a taxa de detecção de obstáculos obtida foi de 89%.

### 3.2.2. Análise de risco na interação humano-máquina com HAZOP-UML

Em Guiochet (2016) é proposto uma forma de identificar perigos através do método HAZOP, abordado anteriormente no capítulo 2. Assim, a abordagem visa ser aplicável desde o início do desenvolvimento de um processo, buscando cobrir atividades humanas como sendo possíveis fontes de perigo, e focando em perigos operacionais, como aqueles relacionados a tarefas que envolvam robôs e interações em um ambiente compartilhado. Além disso, o autor propõe o uso de UML (Linguagem de Modelagem Unificada) para descrever o sistema.

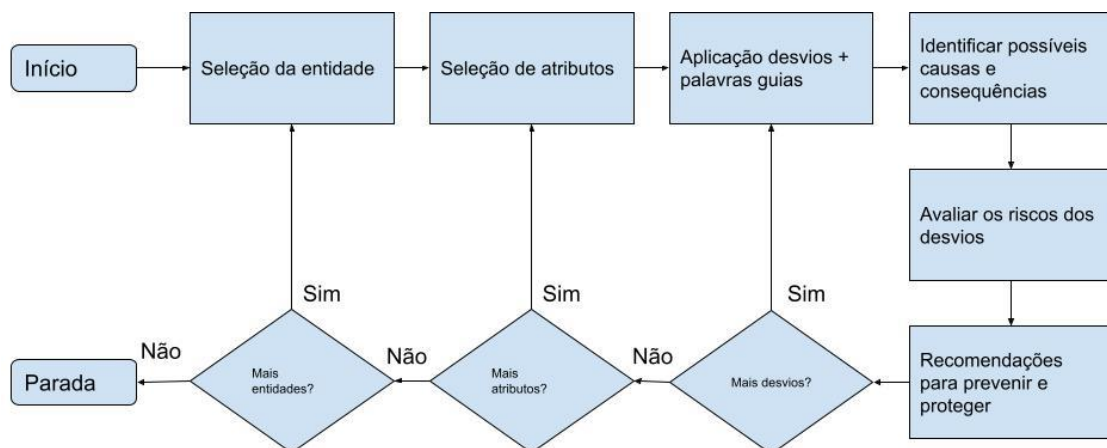
Sendo assim, como o método HAZOP visa identificar parâmetros de segurança baseado em palavras guias, i.e.: temperatura “menor” que, pressão “maior” que, entre outros, o autor propõe diagramar os parâmetros de interesse através dessa linguagem, focando na identificação de perigos operacionais, como os presentes em IHM. No entanto, é importante salientar que a abordagem não cobre todos os tipos de riscos, uma vez que a área e conceitos relacionados são extremamente abrangentes, para tanto, o autor reforça que uma única técnica de identificação de risco é incapaz, atualmente, de identificar todos os tipos possíveis.

Neste contexto, o processo para executar o HAZOP baseado em UML tem o seguinte procedimento: para cada entidade, para cada atributo e para cada palavra guia, identificar um ou mais possibilidades de desvios – i.e.: temperatura muito elevada – e analisá-los. Assim, essa análise visa identificar possíveis causas e consequências, e se o nível de detalhamento do projeto permitir, quantificar o risco.

Além disso, o autor define uma lista de palavras guias genéricas e, com isso, consegue avaliar condições como: “O robô está em frente do paciente”, juntamente com a palavra guia “Não”, leva ao cenário: o paciente tenta se levantar enquanto o robô não está posicionado corretamente, induzindo a esforços excessivos do paciente e uma queda. Quando a condição é relacionada com mais palavras guia, inúmeras possibilidades surgem, dependendo do analista que está aplicando o método HAZOP para interpretá-lo. Porém, o autor constata que o objetivo é identificar todos os possíveis cenários perigosos.

Além dos diagramas de casos de usos, o autor propõe o uso de diagramas de sequências e máquina de estado, ambos demandando o cruzamento das informações de condições, das palavras guias e das interpretações. O processo como um todo pode ser visto na Figura 13. Como o processo de análise é complexo e combinacional, uma ferramenta para facilitar e apoiar a abordagem também é proposta.

Figura 13 - Processo do HAZOP-UML.



Fonte: Adaptado de Guiochet (2016).

A ferramenta é confeccionada como um plugin da plataforma Eclipse<sup>7</sup> e possui interface que permite ao analista desenhar os diagramas UML, como caso de uso e de sequência, do cenário em questão. Além disso, utilizando as palavras guias definidas, um modelo HAZOP pode ser preenchido e após todas as informações inseridas, um relatório é gerado para ser analisado.

### 3.2.3. Estratégia de variação de velocidade livre de colisão em IHM

Chan e Tsai (2020) apresentam um novo modelo para prevenção de colisão em ambientes colaborativos. A abordagem utiliza um algoritmo denominado de *Danger Index* e um algoritmo genético denominado *Elite Real-Coded* (ERGA). O primeiro algoritmo utiliza formas elipsoidais para modelar o colaborador e o robô e descreve o grau de segurança durante uma eventual IHM. Já o segundo, junto com uma função de penalidade, é utilizado para resolver restrições não lineares presentes no manuseio do robô.

Para modelar um ser humano, a abordagem utiliza sensores RGB-D que capturam as articulações do esqueleto do operador através do framework Microsoft Kinect. Assim, a modelagem é realizada apenas da parte superior do corpo, uma vez que a maioria das colisões acontecem nessa região. Para tanto, um modelo matemático utilizando rotações homogêneas e rotacionais no espaço tridimensional é proposto visando resolver essa questão. Já a detecção de colisão entre o humano e o robô é definida pela modelagem utilizando elipsoides, que são capazes de determinar possíveis intersecções entre os modelos.

A estratégia para variação de velocidade que determina os valores ótimos utiliza algoritmos planejadores de trajetórias capazes de evitar obstáculos. Já o algoritmo proposto para obter o valor de velocidade ótima do robô pode ser entendido da seguinte forma: se um colaborador humano é detectado pelo sistema de visão oriundo do Kinect, o algoritmo *Danger Index* calcula e gera o modelo tridimensional utilizando elipsoides. O algoritmo ERGA – algoritmo genético – possui as principais fases, como: elitismo, *crossover*, mutações e calcula a função de *fitness*. O algoritmo

---

<sup>7</sup> Eclipse – [www.eclipse.org](http://www.eclipse.org)



é encerrado ao atingir a 100ª geração. Caso não haja colaboradores no ambiente, o robô atua com a velocidade predefinida.

#### 3.2.4. Sistema de controle especialista

Dolganov e Letnev (2020) propõem um sistema de controle especialista que visa resolver a questão de segurança no contexto de um robô interagindo com um humano. O sistema de controle especialista faz o uso do conhecimento de um *expert* na área onde o robô irá atuar.

No sistema especialista de controle, segundo Dolganov e Letnev (2020), o conhecimento é expresso em regras expressas na forma de “se *X*, então *Y*”, armazenado em uma base de conhecimento, e, como consequência, faz o uso de métodos de inferência baseado em regras. Com isso, esses sistemas permitem integrar na sua estrutura o conhecimento sobre as relações comunicativas do tipo humano-robô. Tal conhecimento é obtido através de um processo de aquisição de conhecimento, formalizado em regras e transferido para a base de conhecimento do robô. Assim, esses sistemas podem incluir não só uma base de conhecimento acerca das ferramentas que o robô utiliza para resolver uma determinada tarefa, mas também conhecimento especialista e as heurísticas nas relações de comunicação humano-robô.

Para atingir o objetivo desse sistema especialista, Dolganov e Letnev (2020) consideram dois principais problemas: um modelo conceitual das relações de comunicação humano-robô; e a questão de auto-organização nas relações comunicativas humano-robô. O modelo conceitual das relações de comunicação é baseado em dois postulados: o primeiro é o robô, como um sistema inteligente complexo, capaz de imitar fisicamente e os aspectos cognitivos das atividades humanas; o segundo, o robô como um imperativo humano nas relações interpessoais, de forma a tratar uma pessoa da mesma forma como essa pessoa se trataria.

Neste contexto, Dolganov e Letnev (2020) definem regras conceituais que visam expressar as relações entre humano e robô de comunicativa a fim de garantir a existência dessas regras tanto de robô-máquina, quanto para máquina-robô, de forma que o sistema de informação atue de forma alternada, ora como fonte e ora como receptor de informações. Essa abordagem visa resolver a questão da comunicação

com um robô, envolvendo apenas seres-humanos como fonte da informação, tendo, por exemplo, o corpo humano como sendo um transmissor de informação no espaço tridimensional. Os autores sugerem que um robô com esse sistema de controle pode possuir estrutura similar de consciência, de forma a agir baseado em sua central de informações especializada.

Para atingir essa consciência, o trabalho de Dolganov e Letnev (2020) utiliza diferentes níveis estruturais de controle, como o centro de controle coletivo, que se relaciona tanto com indivíduos humanos, quanto com outros robôs de sistemas especialistas, formando conjuntos de centro de controle individuais. Dessa forma, o processo de tomada de decisão entre os robôs com sistemas especialistas ocorre diretamente, e de forma mútua, com a central de controle coletiva, através dos seus indivíduos – podendo ser a nível de componentes do robô, e seus centro de controles individualizados.

### 3.2.5. Trajetória baseada em avaliação de segurança

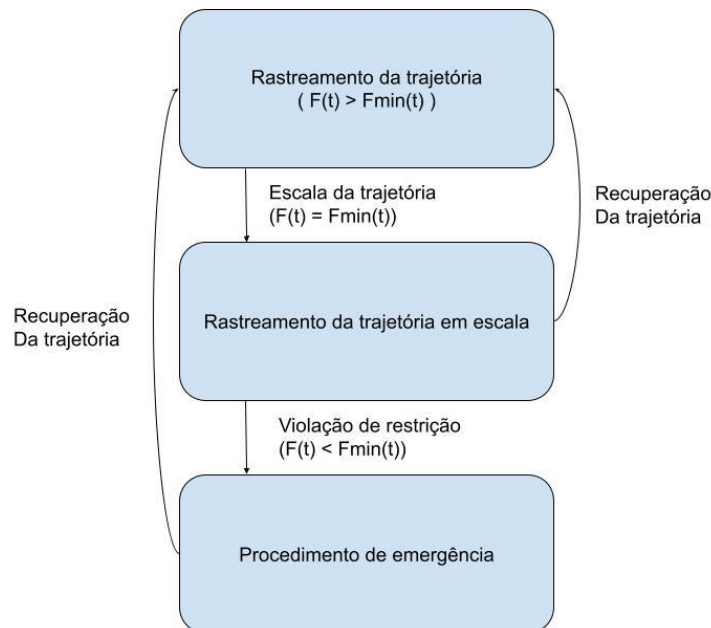
No trabalho de Lippi e Marino (2020) é proposto uma arquitetura geral para realização de tarefas cooperativas que utilizam múltiplos robôs em um ambiente compartilhado com colaboradores. Nesta abordagem é proposto um campo de segurança cumulativo, o qual considera movimentos relativos de posição e velocidade entre os colaboradores e cada ponto de cada robô presente no ambiente. Além disso, uma estratégia de trajetória é proposta, tendo o intuito de controlar a velocidade do robô de forma a não afetar o índice de segurança limite estipulado. Caso esse limite seja extrapolado, um procedimento emergencial é previsto.

Tal abordagem define um modelo geral cinemático para modelar os robôs levando em consideração a velocidade, aceleração, vetor de torque, atrito viscoso e demais parâmetros que são descritos formalmente no trabalho. Já o modelo de comunicação é descentralizado, buscando eficiência computacional e a troca de informações é descrita através de um grafo, onde os nós são os robôs e as arestas representam links de comunicação, de forma a respeitar que um robô  $i$  pode enviar informação ao  $j$  quando  $(i, j)$  pertencem ao grafo  $E$ .

A avaliação de segurança é definida por um índice escalar que quantifica o nível de segurança humana em relação a um ponto genérico  $P$  da estrutura do robô a

um ponto  $P_0$  do colaborador. Assim, um modelo matemático que leva em consideração as posições (velocidades) do robô e do colaborador, bem como as distâncias anteriores, é definido para auferir tal índice. Baseado nisso, um esquemático da solução proposta é ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Esquemático da estratégia proposta.



**Fonte:** Adaptado de Lippi e Marino (2020).

A proposta consiste em, contanto que o índice de segurança humana  $\vec{F}(t)$  seja maior que o mínimo permitido durante a trajetória, a trajetória nominal é rastreada, sendo que, caso o nível mínimo seja violado, um procedimento de escala é aplicado para alterar a velocidade sem desvios do caminho definido. Esse processo ocorre de forma descentralizada, de modo que um robô líder seja capaz de computar os parâmetros necessários que servirão de entrada para o modelo matemático e que a saída funcione e possa ser estimada pelos demais robôs em uma trajetória baseada nos pontos de referência (posições) determinados.

Com esta abordagem, os autores Lippi e Marino (2020) expõem resultados expressivos quando comparado por métricas definidas, tais como: tempo de execução; tempo ocioso do robô quando tarefas são interrompidas; tempo de movimento simultâneo – o qual se refere ao tempo de movimento tanto de robôs quanto humanos; performance na execução da trajetória proposta; e média de índice

de segurança. Esta abordagem se sobressai quando, ao atingir um nível mínimo de segurança, a tarefa executada pelo robô não é abortada, mas tem velocidade de execução diminuída.

### 3.2.6. Proposta de Colaboração Segura em ambientes Humano-Máquina

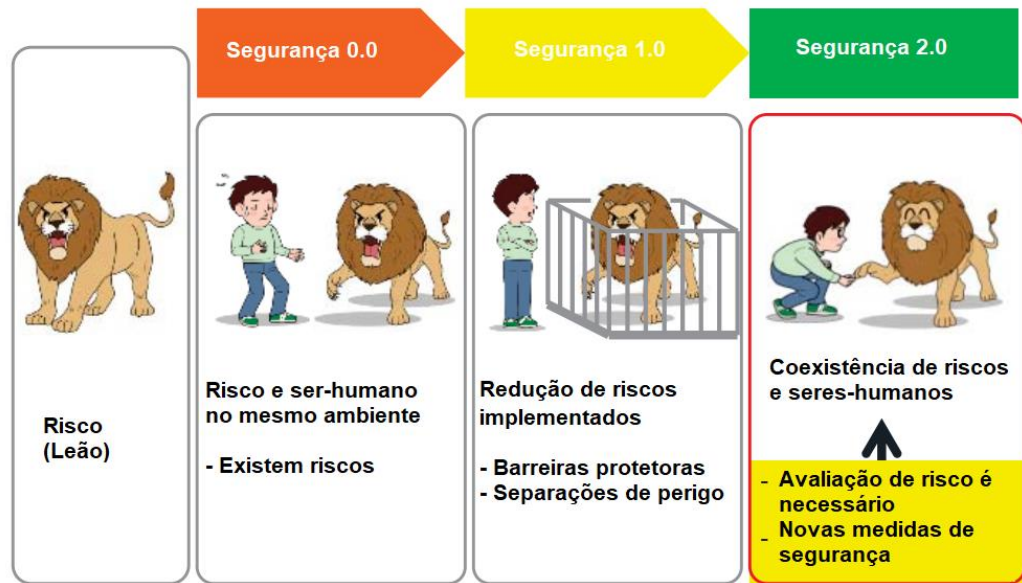
No trabalho apresentado por Dohi et. al (2018) é introduzido o conceito de segurança para o novo modelo da indústria devido a 4ª revolução industrial. Sendo assim, os autores apresentam novos conceitos relacionados à segurança em ambientes colaborativos entre humanos e máquinas baseado em níveis de segurança.

Para tanto, são definidos 3 níveis de segurança, que seguem: o nível mais primitivo, a Segurança 0.0, é baseado no total entendimento do ser-humano para garantir a segurança; o nível de Segurança 1.0 é baseada no uso de maquinários projetados para serem seguros, uma vez que os seres-humanos podem cometer erros, ou seja, as máquinas são projetadas para estarem isoladas e, caso algo ocorra, pararem as atividades para não causar danos; e, o nível de Segurança 2.0 é um conceito de segurança de alto nível, que demanda treinamentos e habilidades para que, em um ambiente compartilhado, onde os maquinários não estão isolados e há um direto contato com os seres-humanos, nenhum risco seja identificado.

Neste contexto, os autores apresentam o modelo que pode ser visto na Figura 15, denominado de “Leão”, para definir os principais conceitos que envolvem os níveis de segurança. Sendo assim, para atingir um nível de Segurança 2.0, é necessário levar em consideração inúmeros fatores, desde a relação entre o ser-humano e máquina, até o sistema que gerencia todo o fluxo do maquinário, passando pelos seguintes pontos:

- **Humano:** qualificação; papel exercido; carreira e experiência; saúde; comportamento; localização no ambiente; ação executada.
- **Máquina:** velocidade; movimento – parado ou não; temperatura elevada; posicionamento; sensoriamento; entre outros.

Figura 15 – Modelo “leão” de riscos e segurança.



**Fonte:** Adaptado de Dohi et. al (2018).

Portanto, para que haja condições ótimas de trabalho em um ambiente colaborativo, o conhecimento de segurança deve passar por informações tanto dos colaboradores, quanto das máquinas.

### 3.2.7. Síntese dos Trabalhos

Os trabalhos apresentados nesta seção evidenciam a importância de tratar a questão de segurança na Interação Humano-Máquina, bem como apresentam as abordagens identificadas para esta finalidade. Com isso, foi constatado que os principais métodos que tratam esses cenários utilizam abordagens de controle do robô com baixo ou nenhum nível de expressividade semântica.

Tais abordagens privilegiam a identificação do humano no ambiente compartilhado, o controle de velocidade e de potenciais movimentos do robô, para que parâmetros de entrada, e.g.: posições e velocidades; possam ser aplicados em técnicas de planejamento de trajetórias, visão computacional, entre outras modelagens.

Dessa maneira, para o desenvolvimento do presente trabalho, a integração de diferentes ontologias apresenta um grande potencial para oferecer ampla descrição em cenários de IHM. Além disso, o seu uso pode ser complementar às abordagens

apresentadas – que utilizam cinemática e outros modelos matemáticos, oferecendo um acervo rico nas definições das relações de máquinas e sensores.

Neste contexto, a abordagem de Dohi et. al (2018) reforça a necessidade de se ter soluções com capacidade de descrever semanticamente um contexto colaborativo de IHM, pois é evidenciado que inúmeros aspectos devem ser levados em consideração para atingir um nível elevado de segurança nos ambientes atuais, seja no nível de riscos quando no nível de máquinas e humanos. Assim, a fim de sintetizar as abordagens apresentadas, relacionando-as às perspectivas de avaliação de riscos e descrição semântica, a Tabela 4 é apresentada.

**Tabela 4 - Síntese das abordagens de segurança em IHM.**

Abordagem (subseção)	Enfoque	Categoria do Risco	Descrição Semântica
3.2.1	Sensorial.	Colisão.	Abordagem não trata semanticamente o contexto.
3.2.2	Representação do modelo HAZOP.	Riscos variados presentes no ambiente.	Abordagem não trata semanticamente o contexto.
3.2.3	Sensorial.	Colisão.	Abordagem não trata semanticamente o contexto.
3.2.4	Modelagem do contexto baseado em regras primitivas.	Riscos variados presentes no ambiente.	Abordagem expressa semanticamente o contexto de forma mínima, através de regras específicas para o cenário, não utilizando ontologia.
3.2.5	Planejamento de trajetórias.	Colisão.	Abordagem não trata semanticamente o contexto.
3.2.6	Determinar níveis de segurança em ambientes colaborativos.	Riscos variados presentes no ambiente.	Abordagem não trata semanticamente o contexto.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Portanto, é visto que não há abordagens semânticas utilizando ontologias no contexto da interação humano-máquinas que buscam avaliar os potenciais riscos expostos ao colaborador. Sendo assim, foi possível constatar a necessidade de uma abordagem que explora a expressividade semântica, tanto no contexto de segurança e análise de riscos, como na interação humano-máquina. Desta forma, a abordagem deve permitir representar as principais entidades envolvidas neste contexto, possibilitando raciocínios automatizados, e seja passível de integração com as abordagens estudadas.

Por fim, o próximo capítulo apresenta a ontologia de aplicação proposta para contemplar os contextos de riscos e maquinários em ambientes colaborativos.

## 4. ONTOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS NA INTERAÇÃO HUMANO-MÁQUINA

Este capítulo apresenta a Ontologia para Avaliação de Riscos na Interação Humano-Máquina (OAR-IHM). Para tanto, é necessário a especificação de uma ontologia que permita descrever este domínio e apresentar expressividade semântica suficiente para relacionar todas as entidades presentes no cenário, como, por exemplo os colaboradores, robôs, sensores e situações de risco.

### 4.1. Visão geral da ontologia OAR-IHM

Baseado nos estudos apresentados no Capítulo 3, a OAR-IHM proposta neste trabalho utilizou como base a ontologia proposta por Lawrynowicz e Lawniczak (2015), que apresenta um modelo conceitual suficiente para descrever o contexto de riscos presentes no ambiente compartilhado, bem como permite explorar possíveis classificações dos riscos, e estender para demais contextos utilizando outras propostas. De forma análoga ao cenário apresentado pelos autores, em um ambiente compartilhado, típicos da Indústria 4.0 e Digital Twins, tem-se as seguintes classes: **Object** – robôs e seres-humanos; **HazardousSituation** possui ao menos um **HazardousEvent**, sendo uma possível colisão entre ser-humano e máquina, tendo como causa – **Cause** – uma distância muito próxima à área de atuação do robô, que tem como consequência – **Consequence** –, por exemplo, danos corporais devido à colisão.

A modelagem conceitual definida na abordagem dos autores Lawrynowicz e Lawniczak (2015) é aplicável ao cenário de segurança na IHM, porém, não oferece descrições expressivas da classe **Object**, como: máquinas, robôs, sensores, entre outros. Para tanto, na ontologia OAR-IHM será feito o uso da ontologia SSN, Compton et. al (2012), que foi definida para tratar esse problema. Desta forma, um robô manipulador é uma plataforma que hospeda um sistema de sensoriamento, motores, atuadores, entre outras características. Os sensores são objetos capazes de executar ações de observação para auferir resultados. Por exemplo, o sensor de distância é utilizado para coletar a distância de um colaborador até o ponto referencial.

As principais classes da ontologia e seus respectivos domínios são mostradas na Tabela 5. Baseado na abordagem de Lawrynowicz e Lawniczak (2015), tem-se que



um agente ou trabalhador – **Agent** – exposto à um perigo – **Hazard**, caracteriza um evento perigoso – **HazardousEvent**, sendo que este evento apresenta uma causa – **Cause** – e uma consequência – **Consequence**.

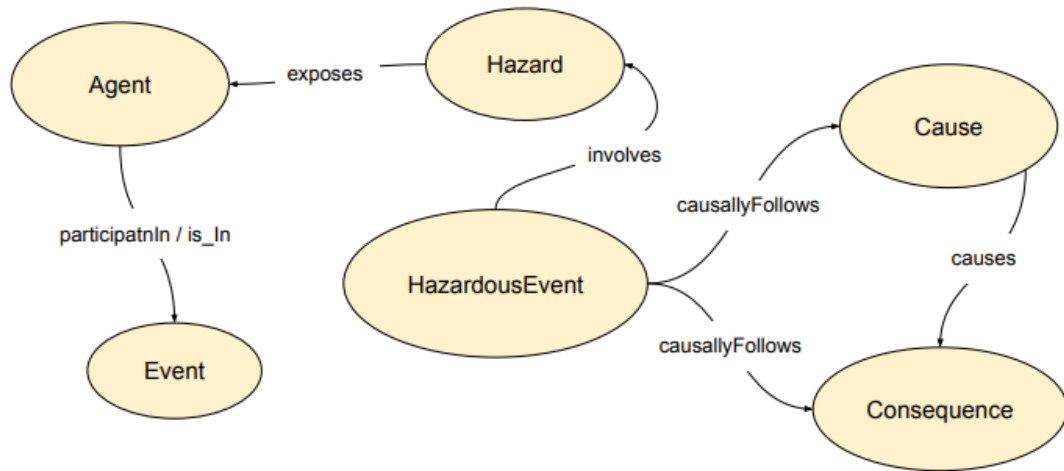
**Tabela 5 - Principais classes da ontologia proposta.**

Domínio	Classe	Descrição
<b>Riscos</b>	<b>Agent</b>	Seres-humanos: colaboradores
	<b>Cause</b>	Motivo que leva ao risco
	<b>Consequence</b>	Resultado do risco
	<b>Hazard</b>	O risco propriamente definido
	<b>HazardousEvent</b>	Evento que contém o risco
<b>Maquinário</b>	<b>Platform</b>	Maquinário como um todo
	<b>System</b>	Sistemas acoplados ao maquinário
	<b>Sensor</b>	Dispositivo
	<b>Observation</b>	Ação realizada pelo dispositivo
	<b>Result</b>	Resultado da ação

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

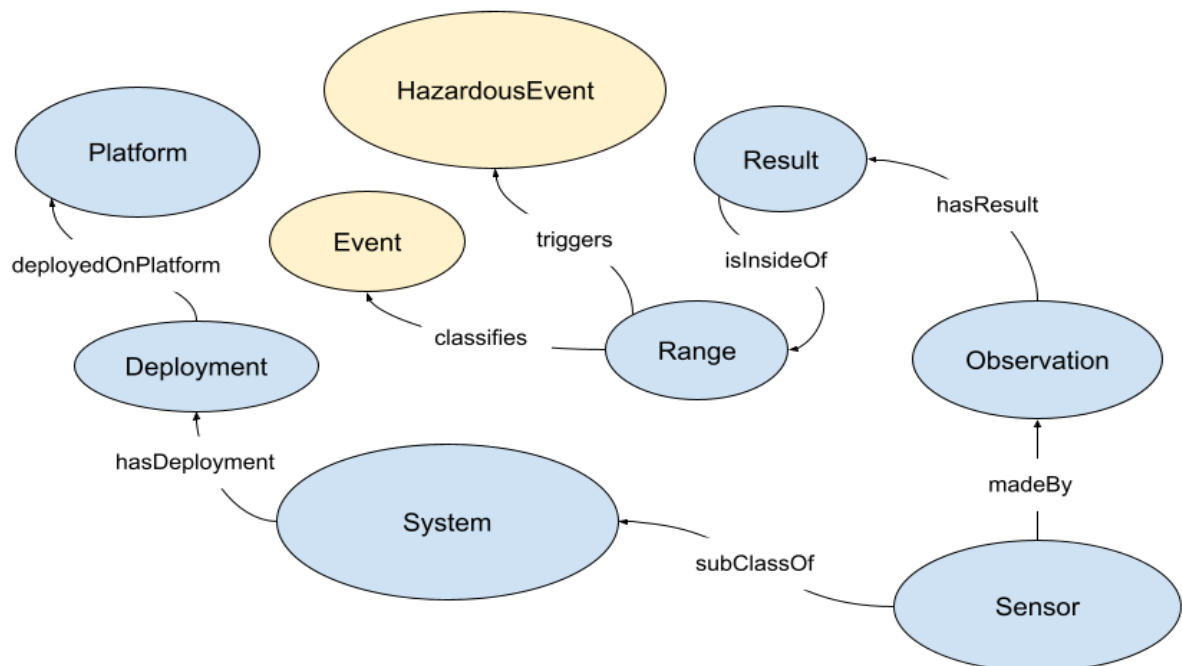
Na Figura 16, são ilustradas as principais classes e relações relacionadas ao contexto de risco baseado na abordagem de Lawrynowicz e Lawniczak (2015). Para o contexto de máquinas e sensores, as classes e relações podem ser vistas na ilustração da Figura 17, seguindo a ontologia SSN (Compton et. al 2012).

Figura 16 – Principais relações entre classes no contexto de riscos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 – Principais relações entre classes no contexto de máquinas/sensores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a modelagem do contexto de máquinas e sensores, ilustrado na Figura 17, tem-se: um sensor – **Sensor** – como subclasse (*subClassOf*) de sistema – **System**, todo sistema é hospedado (*hasDeployment*) a uma plataforma – **Platform**, que no contexto, entende-se por um robô manipulador. Além disso, **Sensor** é capaz de executar uma ação (*madeBy*), definida pela classe **Observation**, que tem por resultado (*hasResult*) **Result**, sendo este avaliado em um intervalo (*isInsideOf*) – **Range**.

Por fim, para que na definição da ontologia OAR-IHM torne possível a integração entre as ontologias e forneça descrição do contexto de IHM se faz necessário a criação de novas classes e propriedades. Portanto, a próxima seção mostra as demais contribuições do presente trabalho na criação da OAR-IHM capaz de permitir descrever esses cenários.

#### 4.2. Contribuições da ontologia OAR-IHM

Para que a ontologia proposta seja capaz de descrever o contexto de riscos na IHM utilizando as ontologias SSN e Hazardous Situation, é necessário a criação de novas classes, relações e propriedades. Desta forma, a seguir, são apresentados os principais aspectos conceituais da ontologia para cobrir o contexto escolhido.

A classe **Range**, que pode ser vista na Figura 17, é uma contribuição deste presente trabalho e é importante para definir a integração entre os contextos, sendo capaz de classificar, baseado na distância do colaborador em relação ao robô, o tipo de evento que está ocorrendo no ambiente, podendo ser de risco ou não. Neste caso, de acordo com a proximidade com que um trabalhador ou o agente se apresentar diante de um maquinário, tais como: robô, um trabalhador pode ser exposto a perigo de uma colisão, se este evento ocorrer dentro do raio de atuação da máquina.

Além disso, a Tabela 6 sumariza os novos requisitos, seus tipos, domínios, imagens, bem como suas respectivas descrições. Destacadas em cinza, têm-se as propriedades e classes que garantem à ontologia não ambiguidade na inferência de informações; em verde, tem-se a classe **Range**, a qual representa o elo entre os contextos de máquinas e riscos; por fim, em amarelo, tem-se os conceitos aproveitados da abordagem de Dohi et. al (2018), a qual define requisitos importantes para se ter alto nível de segurança em ambientes que existam IHM, denominado Segurança 2.0. Dessa forma, tais requisitos foram inseridos na OAR-IHM.

**Tabela 6 - Principais novas classes e propriedades da ontologia proposta.**

Termo	Tipo	Domínio	Imagem	Descrição
Classifies	Propriedade de Objeto	Range	Events	Um range (medida) é capaz de classificar um evento como sendo ou não de risco
Is inside of range	Propriedade de Objeto	Result	Range	Um resultado obtido pelo sensor está inserido em um range

Triggers	Propriedade de Objeto	Range	Hazardous Event	Um range predeterminado caracteriza um evento perigoso
Component	Classe	-	-	Caracteriza Platform ou System
Events	Classe	-	-	Caracteriza Event ou HazardousEvent
SystemAct	Classe	-	-	Caracteriza Actuation ou Observation ou Sampling
Range	Classe	-	-	O resultado pode ser classificado baseado em faixas
Action	Classe	-	-	Ação executada pelo colaborador
Behavior	Classe	-	-	Comportamento do colaborador
Qualification	Classe	-	-	Ocupação do ser-humano
Location	Classe	-	-	Localização do ser-humano
Is Located At	Propriedade de Objeto	Location	Agent	Posição do ser-humano
Role	Classe	-	-	Papel do ser-humano
Has Role	Propriedade de Objeto	Agent	Role	Um agente possui um papel
Injure	Classe	-	-	Tipo de dano sofrido pelo ser-humano
Has Body Injured	Propriedade de Objeto	BodyPart	Injure	Partes do corpo possuem ferimentos
Injure Scale	Classe	-	-	Escala do dano sofrido, pode variar conforme a ferramenta utilizada pelo robô
Has Scale	Propriedade de Objeto	Injure	InjureSace	Um dano possui um nível danoso
Body Part	Classe	-	-	Partes do corpo do ser-humano
Has Body Part	Propriedade de Objeto	Agent	BodyPart	Um agente é composto por partes corporais
Tool	Classe	-	-	Ferramenta utilizada pelo robô
Has Tool	Propriedade de Objeto	Robot	Tool	Um robô possui ferramentas

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A ontologia OAR-IHM proposta tem por objetivo, portanto, cobrir as principais entidades e suas relações de um ambiente caracterizado pela colaboração e interação humano-máquina, sendo capaz, ao final, de possibilitar consultas a fim de se obter o tipo de risco presente no contexto, como por exemplo eventuais colisões. Dessa

forma, nos próximos capítulos é apresentado: desenvolvimento da ontologia OAR-IHM; a infraestrutura de software desenvolvida que permite criar um ambiente simulado e a avaliação dos cenários de riscos utilizando a ontologia OAR-IHM; e o estudo de caso no qual a ontologia OAR-IHM é aplicada em diferentes cenários de ambiente simulado, bem como os resultados obtidos são discutidos.

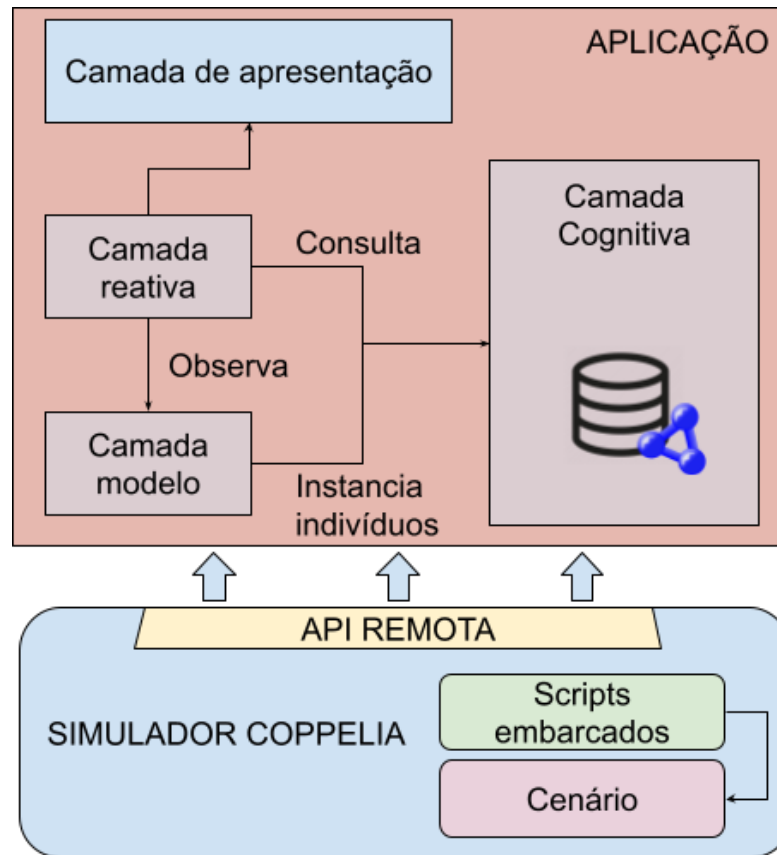
## **5. METODOLOGIA**

Este capítulo tem por objetivo apresentar a metodologia empregada para a validação da ontologia OAR-IHM. Para tanto, é apresentada a arquitetura da aplicação, baseada em conceitos de agentes e Web Semântica, desenvolvida para a realização dos experimentos de validação da ontologia OAR-IHM. Também, são apresentadas as entidades bases para composição dos cenários simulados, além das definições de um modelo conceitual inicial necessário para validação da OAR-IHM junto à aplicação.

### **5.1. Arquitetura da Aplicação Semântica**

Uma aplicação foi desenvolvida para tornar possível a realização dos experimentos de validação da ontologia OAR-IHM proposta. Esta aplicação foi desenvolvida baseando-se na abordagem de arquitetura apresentada em Cagnin et. al. (2018), a qual propõe uma arquitetura para gerenciamento de dispositivos em ambiente de IOT, multicamadas para sistemas multiagentes. Esta abordagem apresenta as camadas física, reativa, cognitiva e de apresentação. Assim, no presente contexto, a Figura 18 ilustra a arquitetura da aplicação desenvolvida neste trabalho, que é composta: pela camada física que é implementada utilizando o Simulador Coppeliasim – capaz de executar os cenários de IHM e disponibilizar as informações na forma de serviços; e a aplicação semântica, que integra as camadas reativa, cognitiva e de apresentação. Também, é necessário destacar que a arquitetura da presente aplicação foi definida para cenários que são utilizados somente agentes reativos e não constituem uma aplicação multiagentes.

Figura 18 - Arquitetura do Sistema proposto no estudo de caso



Fonte: Elaborado pelo autor.

A aplicação semântica é implementada em linguagem Java<sup>8</sup> e estruturada em quatro grandes camadas, apresentadas a seguir:

- **Camada modelo:** Responsável por receber as propriedades dos indivíduos da cena, como robôs e sensores e permitir a criação de suas instâncias na ontologia;
- **Camada reativa:** Construída de acordo com os conceitos de agentes reativos baseados em modelos, apresentado por Russel e Norvig (2013), que consiste em uma forma efetiva de tratar observações do mundo;
- **Camada cognitiva:** Construída para armazenar a ontologia proposta e permitir o tratamento das consultas;
- **Camada de apresentação:** Responsável por apresentar os resultados aos usuários ou agentes – de forma a permitir interoperabilidade e conectividade com demais dispositivos e outros agentes.

<sup>8</sup> <https://www.java.com/pt-BR/>

A conexão da Aplicação Semântica com o Simulador é feita através de uma API, disponibilizada pelo próprio simulador, que expõe métodos para consumir informações como posição das entidades presentes na cena, tais como: colaboradores, robôs e sensores. Há também métodos que permitem identificar o estado dos sensores, caso estes estejam identificando alguma entidade.

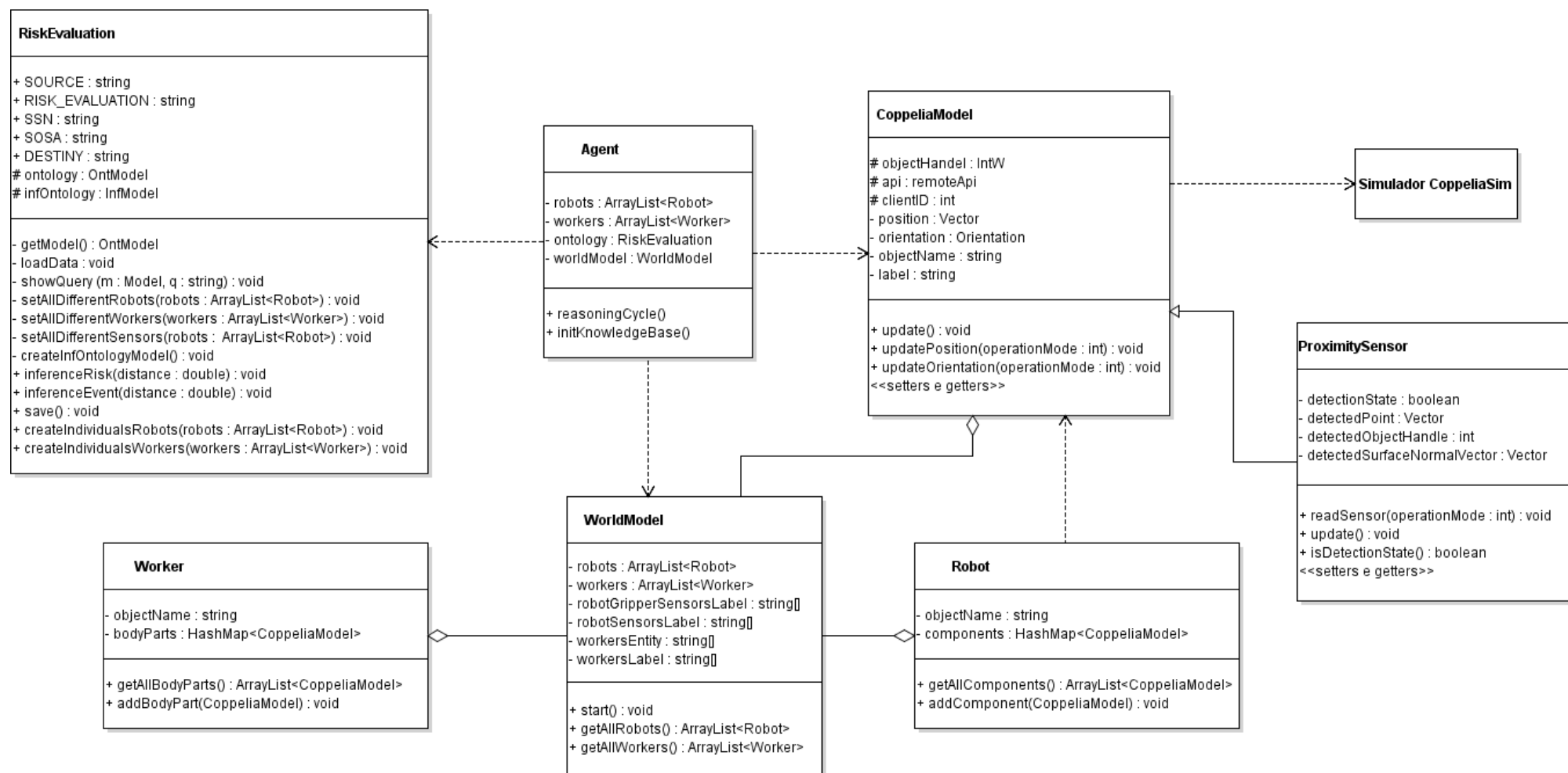
O diagrama de classes da Aplicação Semântica destaca as principais classes na Figura 19. A classe **Coppelia** é responsável por expor os métodos necessários para comunicação com o simulador. Esta classe atualiza o estado dos objetos da classe **CoppeliaModel**, a qual é responsável por representar entidades presentes na cena construída no simulador, sendo que a classe **ProximitySensor** herda suas características e define um sensor, e em conjunto com a classe **Robot**, fornece instâncias da entidade robô. Já a classe **Worker** oferece um meio de instanciar as entidades de colaboradores, que são compostas por partes do corpo. Tais classes são de responsabilidade da Camada Modelo.

A classe **Agent** tem como objetivo iniciar a criação dos indivíduos presentes nos cenários e realizar as consultas na ontologia durante a execução da Aplicação Semântica. Já a classe **WorldModel** representa o estado do mundo, contendo todas as instâncias presentes no cenário e suas propriedades. Sendo assim, um agente é capaz de perceber as alterações do mundo e consultar a OAR-IHM para exibir os resultados, que ficam sob responsabilidade da Camada de Apresentação. A classe **Agent** e **WorldModel** são de responsabilidade da Camada Reativa.

A camada cognitiva é implementada utilizando o framework Apache Jena, que permite o armazenamento da ontologia e das instâncias, e é composta de métodos que oferecem formas para processar as consultas em SPARQL. A classe **RiskEvaluation**, que pertence a Camada Cognitiva, representa o modelo da ontologia proposta, e é através dessa classe que os principais indivíduos da ontologia são instanciados, bem como suas relações. O foco principal é instanciar indivíduos cujas informações podem ser obtidas através do simulador, como as entidades robôs e seus respectivos sensores, bem como suas propriedades observáveis, tais como: distância, e os colaboradores presentes no ambiente.



Figura 19 - Diagrama de classes da aplicação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.2. Método para Criação do Experimento

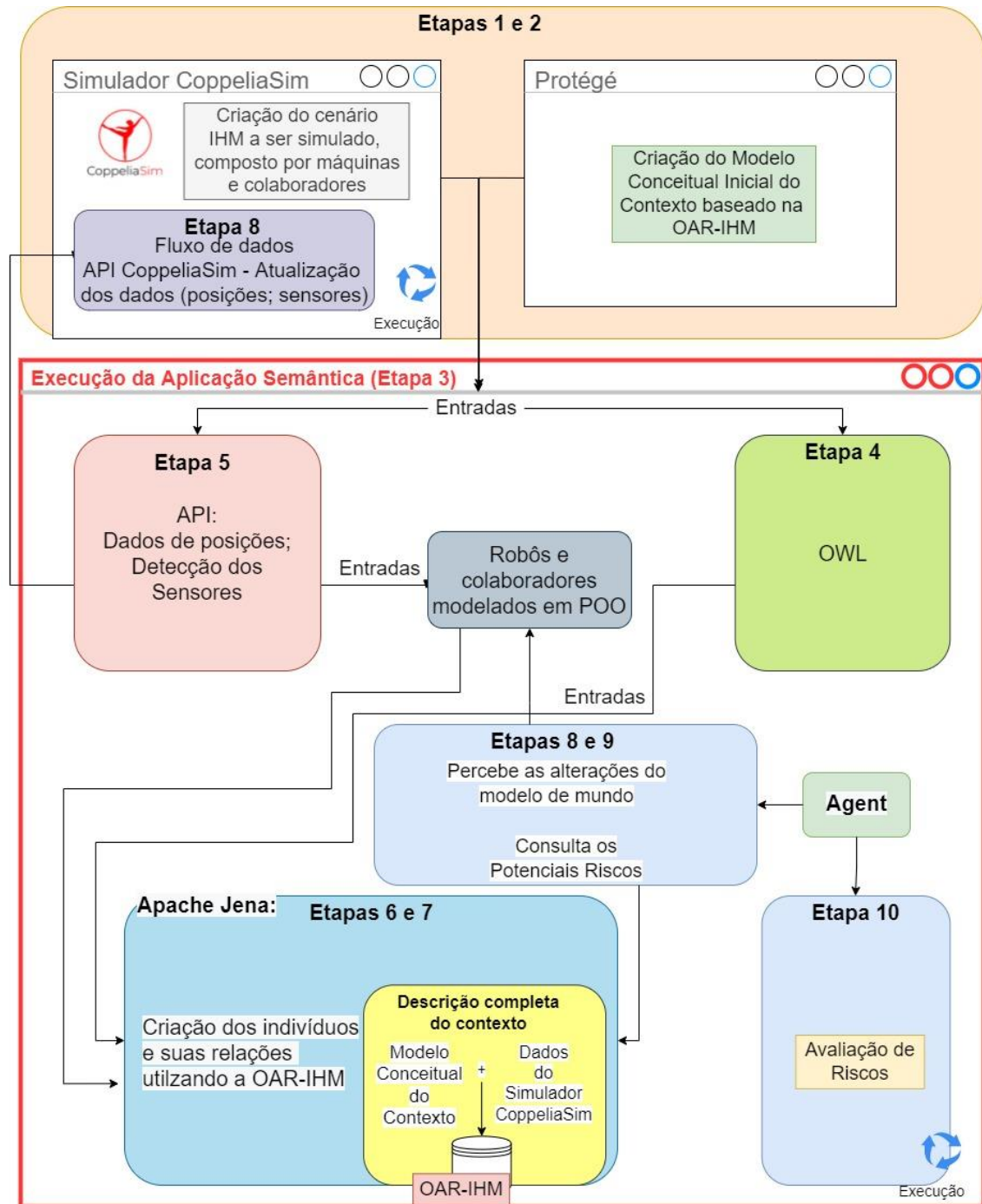
Esta seção apresenta os passos que são executados para a realização de um experimento utilizando a aplicação. Dessa forma, visando contextualizar todo o processo, de criação, execução e consulta na OAR-IHM, conforme ilustrado na Figura 20, as seguintes etapas são descritas:

1. Definição e a execução de uma simulação de cenário IHM utilizando o simulador Coppeliasim. Os dados da simulação são consumidos na Etapa 5. Os detalhes das entidades que compõem o cenário serão apresentados na Seção 5.2.1;
2. Definição e criação do modelo conceitual inicial do contexto apresentado no cenário utilizando o software Protégé, tais como: riscos de colisão; ação de andar do colaborador; nível de dano causado ao colaborador. O modelo conceitual gerado será a entrada da Etapa 4. Os detalhes de um modelo de contexto inicial serão apresentados na Seção 5.2.2;
3. Início de execução da Aplicação Semântica;
4. Modelo conceitual inicial do contexto de uma simulação, no formato OWL, é utilizado como entrada para a aplicação, permitindo o carregamento em memória através do *framework* Apache Jena. Tal ação é de responsabilidade da classe **RiskEvaluation**, apresentada em detalhes na seção 5.1;
5. Dados do simulador Coppeliasim são consumidos a fim de criar um modelo de mundo baseado no Paradigma Orientado a Objeto (POO), como: robôs com sensores acoplados; colaboradores compostos por partes do corpo; representados como objetos instanciados na classe **WorldModel**, apresentada na seção 5.1;
6. Baseado no modelo de mundo criado pela aplicação, ocorre a instanciação, em tempo de execução, dos indivíduos presentes no cenário IHM e suas respectivas relações, definidas pela OAR-IHM, através do *framework* Apache Jena;
7. Criação das relações entre os indivíduos da Etapa 6 e os indivíduos do modelo conceitual inicial, definidas pela OAR-IHM, permitindo a descrição de todo o cenário IHM, através do *framework* Apache Jena. Tais relações podem ser entendidas como: sensores e robôs são relacionados através da

tripla <Sensor> *is\_hosted\_by* <Robot>; colaboradores são expostos a um evento perigoso através da tripla <HazardousEvent> *hasParticipant* <Worker>. Os detalhes das demais relações serão vistas na subseção 5.2.4;

8. Ao longo da execução da simulação do cenário no CoppeliaSim, a Aplicação Semântica consome dados de posição dos membros do colaborador e a respectivas distâncias relativas ao robô detectado pelos sensores;
9. Através da classe **Agent**, a qual percebe as alterações do mundo ocorridas na etapa anterior e posteriormente realiza a consulta na OAR-IHM utilizando o *framework Apache Jena*, e baseada nos resultados das consultas, detalhadas na subseção 5.2.7, identifica os potenciais riscos presentes no cenário;
10. Nesta etapa, são apresentados os resultados das consultas dos riscos identificados na OAR-IHM;
11. As etapas 8, 9 e 10 são realizadas repetidas vezes até a aplicação ser encerrada.

Figura 20 – Fluxo de execução das etapas do experimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, a Aplicação Semântica consome os dados do simulador Coppeliasim, o qual executa os cenários de IHM definidos (cada cena faz alusão a um possível trabalho compartilhado entre robôs e máquinas), a partir do consumo de dados através de uma API, e a partir desses dados, cria instâncias dos indivíduos e demais relações na OAR-IHM, descrevendo todo o contexto em questão e possibilitando consultas para avaliação de riscos.

Desta forma, as próximas subseções têm por objetivo detalhar os processos relevantes executados nas etapas aqui descritas. Portanto, serão apresentadas as principais entidades que compõem os cenários na subseção 5.2.1, conforme descrito na etapa 1; a subseção 5.2.2 apresenta um modelo conceitual de contexto utilizado como base nas simulações, conforme etapa 2; a subseção 5.2.3 apresenta o ciclo de execução das etapas 3 a 6; além disso, a subseção 5.2.4 descreve a criação do relacionamento entre modelo conceitual e modelo de mundo apresentado na etapa 7; a subseção 5.2.5 apresenta como a Aplicação Semântica consome os dados e percebe o estado do mundo presente no cenário de IHM simulado e realiza as consultas na ontologia, conforme descritos entre as etapas 8 a 11;

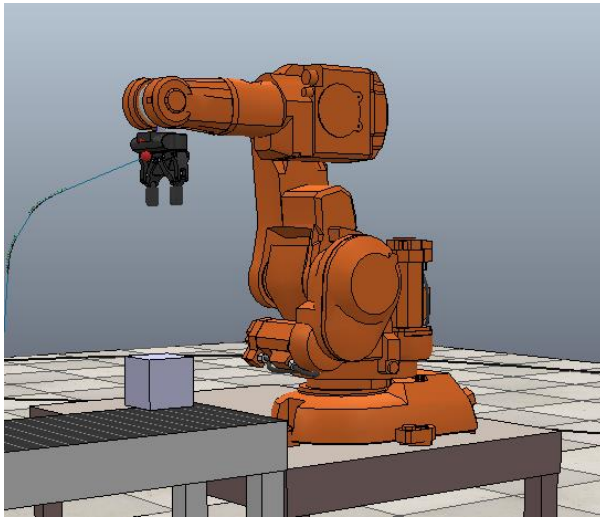
Por fim, a subseção 5.2.6 apresenta, através do uso do raciocinador Hermit Reasoner a consistência dos indivíduos e suas respectivas relações criadas na ontologia OAR-IHM. Além disso, a subseção 5.2.7 apresenta as consultas definidas para a obtenção da avaliação de risco utilizadas na Aplicação Semântica.

#### 5.2.1. Principais Entidades Presentes nos Cenários

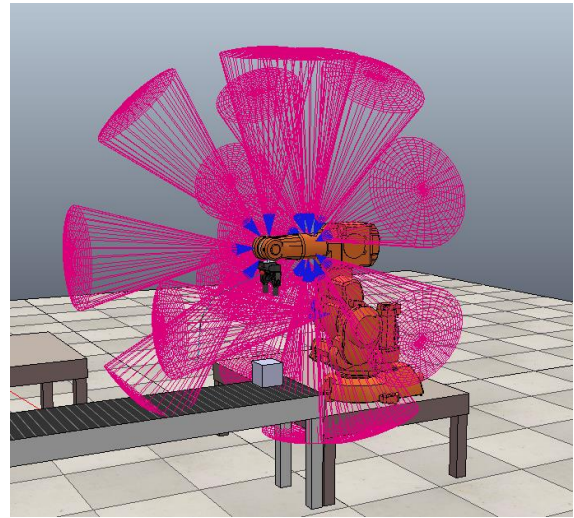
Conforme citado na Etapa 1, a definição e a execução de uma simulação de cenário IHM foi feita utilizando o simulador CoppeliaSim. Todos os modelos utilizados na simulação provêm da biblioteca de componentes do próprio simulador CoppeliaSim, sendo que o modelo dos manipuladores foi escolhido baseado no trabalho de Avanzini et al. (2014), apresentado na seção 3.2.1.

Figura 21 – Modelo do Manipulador robótico e disposição dos sensores

a)



b)

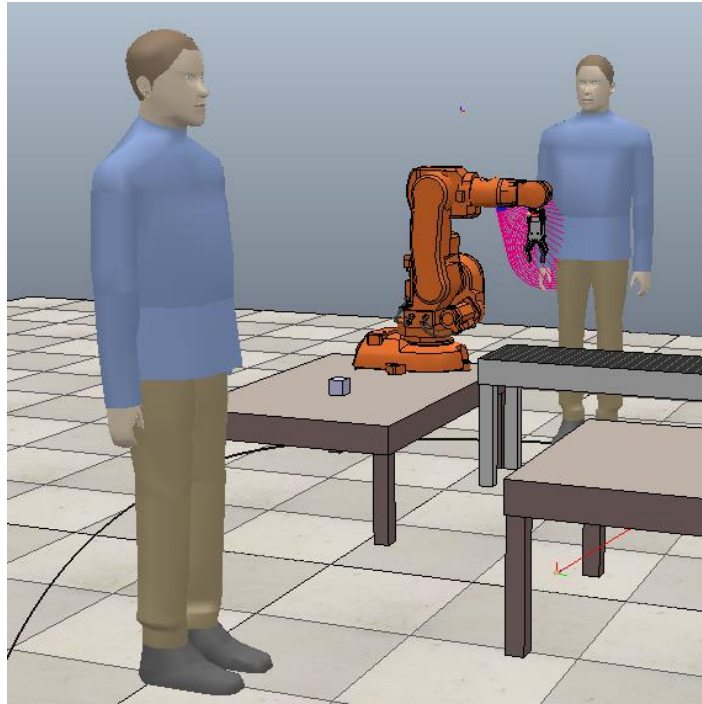


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A disposição dos sensores no robô manipulador, conforme Figura 21, também foi baseada na abordagem de Avanzini et al. (2014) e implementa o conceito de pele sensoriada. Neste trabalho é possível encontrar outras contribuições que utilizam abordagens baseadas em superfícies sensoriadas para propósitos de controle. Os sensores acoplados aos robôs podem ter vantagens em ambientes não estruturados, uma vez que sensores fixos demandam estrutura extra junto ao ambiente, além de questões como calibração e demais preparações.

O robô manipulador pode executar diferentes tarefas baseado na ferramenta que está acoplada no eixo, no caso de uma garra, o robô pode executar uma tarefa de separação de caixas. Além disso, o robô pode conter uma ponta de solda, ferramenta de pintura e demais outras possíveis ferramentas. Além dos robôs, na modelagem do ambiente é inserido um ou mais colaboradores, conforme podem ser vistos na Figura 22.

Figura 22 – Modelo dos colaboradores



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Desta forma, o simulador CoppeliaSim fornece os dados das entidades inseridas no cenário através de sua API, esses dados são: posição no espaço dos colaboradores e detecção dos sensores, uma vez identificado alguma obstrução no raio de detecção. O dado de detecção retorna qual parte do corpo do colaborador foi identificado. Ou seja, o simulador oferece meios de consumir os dados, através da API, caso ocorra a detecção do braço do colaborador, o qual está posicionado nas coordenadas (X; Y; Z). Assim, baseado no dado de posicionamento do membro do colaborador identificado pelo sensor, a Aplicação Semântica é capaz de consultar os riscos na ontologia.

### 5.2.2. Modelo Conceitual do Contexto

A criação do modelo conceitual do contexto, conforme mencionado na Etapa 2, faz referência a descrição base do contexto presente nos cenários de IHM confeccionados no simulador CoppeliaSim. As entidades definidas neste modelo conceitual inicial representam conceitos abstratos presentes no cenário de IHM, que podem ser vistos na Tabela 7, tais como: risco de colisão (**CollisionWithRobot**), danos ao colaborador (**InjuredWorker**), eventos que caracterizam o deslocamento do colaborador (**WorkWalkingEvent**), bem como os níveis de danos que este pode

sofrer, definidos por mínimo (**MinimalHarm**), médio (**MediumHarm**), crítico (**CriticalHarm**) e fatal (**FatalHarm**).

Dessa forma, o objetivo é mapear os conceitos do cenário de IHM para o modelo conceitual inicial, que consiste dos indivíduos – conceitos – presentes nas cenas, apresentados na Tabela 7, bem como as respectivas classes e significados.

**Tabela 7 - Principais indivíduos do modelo conceitual.**

Indivíduo	Classe	Significado
Injured Worker	Consequence	Consequência que leva o colaborador estar machucado devido à causa
ArmInjured	Injure	Braço do colaborador machucado
TorsoInjured	Injure	Tronco do colaborador machucado
HipInjured	Injure	Quadril do colaborador machucado
CollisionWithRobot	Hazard	Evento de colisão com robô
CriticalHarm	InjureScale	Nível de ferimento crítico
FatalHarm	InjureScale	Nível de ferimento fatal
MediumHarm	InjureScale	Nível de ferimento médio
MInimalHarm	InjureScale	Nível de ferimento mínimo
Distance	ObservableProperty	Distância relativa entre robô e colaborador
WorkerVeryCloseToRobot	Cause	Causa do dano - colaborador muito próximo ao robô
MeasuredDistance	Observation	Distância medida
Measuring	Range	Ação de medir
LongDistance	Range	Range de distância longa
ShortDistance	Range	Range de distância pequeno
MediumDistance	Range	Range de distância média
MovingArm	Action	Ação de mexer o braço
WorkWalkingEvent	Event	Evento sem riscos – ação de caminhar
StoppingRobot	Actuation	Ação de parar o robô
RiskExposure	Exposure	Grau de exposição do risco
NearRobot	HazardousEvent	Evento perigoso

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os indivíduos que representam conceitos chaves na OAR-IHM, tais como: evento perigoso, cuja classe é **HazardousEvent**, e faixa de distância, de classe **Range**, foram apresentados no Capítulo 4, sendo esse último o ponto de conexão



entre as descrições do contexto de riscos e o contexto de máquinas e sensores. Dessa forma, utilizando o software Protégé, ocorre a criação das instâncias dos indivíduos apresentados na Tabela 7.

Uma vez que foram criadas as instâncias dos indivíduos, tem-se como resultado o arquivo OWL que é utilizado como entrada para a Aplicação Semântica, bem como os dados fornecidos via API pelo simulador CoppeliaSim. Desta forma, a etapa 2 é concluída. Baseado nisso, a próxima subseção apresentará o funcionamento da Aplicação Semântica.

### 5.2.3. Execução e Criação do Modelo de Mundo em Memória

Esta subseção descreve o funcionamento das etapas 3 a 6, apresentadas na Seção 5.1. Sendo assim, a partir da conclusão das etapas 1 e 2, conforme descritas nas subseções anteriores, as entradas esperadas pela Aplicação Semântica estão prontas para serem consumidas e a aplicação pode ser executada, dando início a Etapa 3. Desta forma, a execução da Etapa 4 é feita a partir do processamento do arquivo OWL disponibilizado pela Etapa 2, a Aplicação Semântica é capaz de carregar a descrição do modelo conceitual em memória, através do *framework* Apache Jena, sendo definido como um objeto instanciado da classe **RiskEvaluation** presente na Aplicação Semântica, o qual oferece recursos para se trabalhar em tempo de execução com os conceitos e relações já definidas neste modelo.

Além disso, através do fluxo de dados disponibilizado pela API do simulador CoppeliaSim, a Aplicação Semântica pode identificar as entidades presentes no cenário IHM simulador, como: colaboradores, robôs e sensores; e carregá-los em memória através de um modelo de mundo baseado no POO, conforme descrito na Etapa 5, apresentado no diagrama de classes ilustrado na Figura 19 da Seção 5.1. Para esse modelo, os robôs são representados pela composição de motores, ferramentas e sensores. Já os colaboradores são representados pela composição de partes do corpo.

Neste contexto, o modelo de mundo baseado no POO tem por responsabilidade permitir que as entidades confeccionadas no cenário IHM simulado sejam representadas na Aplicação Semântica na forma de objetos da classe **WorldModel**. Tais objetos possuem atributos e métodos correspondentes às características das

entidades no mundo real, permitindo assim, a identificação e consulta do estado atual das entidades no cenário IHM simulado. Tal estado pode representar, por exemplo: um robô é composto por vários sensores de distância que possuem a capacidade de detectar o colaborador, e caso algum membro do colaborador seja detectado, é possível saber esse estado de detecção, bem como a distância do colaborador e qual membro foi detectado. É necessário destacar que todo o processo de fusão sensorial ocorrida nesta etapa é abstraído pelo simulador.

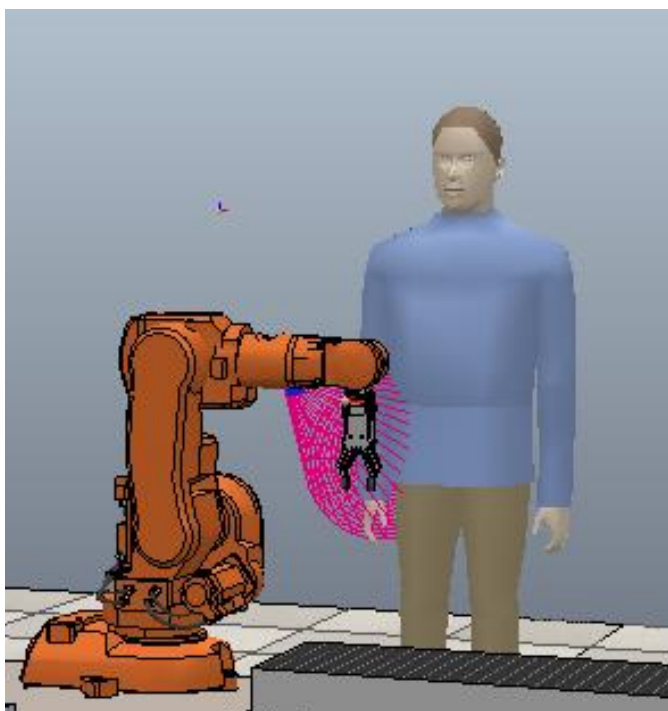
Portanto, conforme descrito na Etapa 6, uma vez criado o modelo de mundo em memória, é possível definir instâncias dessas entidades dentro da ontologia OAR-IHM através dos métodos disponibilizados pelo *framework* Apache Jena. Além disso, essas instâncias criadas estarão relacionadas aos indivíduos do modelo conceitual. Desta forma, a próxima subseção apresentará a relação entre o modelo de mundo em memória e o modelo conceitual.

#### 5.2.4. Relacionamento entre Modelo Conceitual do Contexto e Modelo de Mundo baseado em POO

Descrevendo o funcionamento da Etapa 7, apresentada na Seção 5.1, esta subseção define a relação entre o modelo de mundo definido em POO e o modelo conceitual disponibilizado pela Etapa 2. Desta forma, a Aplicação Semântica faz uso do *framework* Apache Jena para criar as relações entre os indivíduos instanciados na ontologia através de regras condicionais do tipo “se *então*”, a fim de definir essas relações, como por exemplo: Para um cenário de IHM A hipotético, no qual uma colisão entre o braço do colaborador e o robô representam um risco classificado como mínimo, a regra “se cenário X, então defina a relação de dano mínimo para a colisão entre o braço do colaborador e o robô” será responsável por criar essa relação. Faz-se necessário destacar que o simulador CoppeliaSim fornece, através da API, os dados necessários para a execução dessa regra, como: dados do colaborador e dados do robô.

Neste contexto, como forma de exemplificar o relacionamento entre os indivíduos do modelo conceitual, conforme apresentados na Tabela 7, e os indivíduos presentes em um cenário de IHM por parte da Aplicação Semântica, um cenário de IHM simplificado é apresentado na Figura 23, a seguir.

Figura 23 - Cenário de IHM simplificado



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O cenário de IHM simplificado da Figura 23, criado durante a execução da Etapa 1, representa um colaborador inserido em um ambiente colaborativo que está exposto a um evento perigoso – de colisão – caso esteja muito próximo de um robô, podendo sofrer danos leves em seus braços em caso de colisão. Além disso, há um sensor de distância acoplado ao robô capaz de detectar a distância relativa entre o colaborador e o robô. Faz-se necessário destacar que os níveis de danos apresentados nesse exemplo são apenas hipóteses.

Assim, como forma de exemplificar as relações criadas pela Aplicação Semântica, através do uso do *framework* Apache Jena, entre o modelo de mundo baseado no POO do cenário de IHM, criado na Etapa 1, para com os indivíduos do modelo conceitual do contexto, criados na Etapa 2, são apresentadas, na Tabela 8, declarações que representam possíveis situações em um cenário de IHM, e suas respectivas triplas. As triplas da ontologia, conforme descrito na Seção 2.3 do Capítulo 2, é um modelo de sentenças da linguagem natural, representadas por meio de Sujeito, Predicado e Objeto.

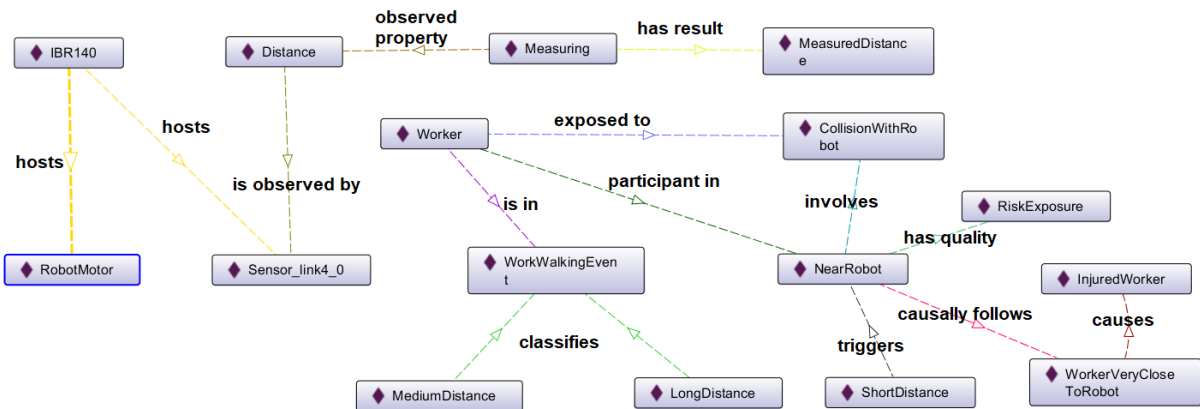
**Tabela 8 - Declarações do cenário de IHM representadas em forma de triplas.**

Declaração	Tripla
Colaborador inserido em um evento de caminhada no ambiente colaborativo	<b>Worker</b> <i>isIn</i> <b>WorkWalkingEvent</b>
Colaborador exposto a um risco de colisão	<b>Worker</b> <i>exposesTo</i> <b>CollisionWithRobot</b>
Colaborador tem participação em um evento perigoso	<b>Worker</b> <i>participantIn</i> <b>NearRobot</b>
Robô possui um sensor acoplado	<b>Sensor</b> <i>is hosted by</i> <b>Robot</b>
Evento perigoso envolve um risco de colisão	<b>CollisionWithRobot</b> <i>involves</i> <b>NearRobot</b>
Evento perigoso é disparado devido a distância entre colaborador e robô ser pequena	<b>NearRobot</b> <i>triggers</i> <b>ShortDistance</b>
Evento perigoso possui uma causa	<b>NearRobot</b> <i>causallyFollows</i> <b>WorkerVeryCloseToRobot</b>
Para uma causa, colaborador muito próximo do robô, há uma consequência de dano	<b>WorkerVeryCloseToRobot</b> <i>causes</i> <b>InjuredWorker</b>
Um dano no colaborador ocorre em alguma parte do seu corpo, como exemplo: braço	<b>InjuredWorker</b> <i>has_injure</i> <b>Armlnjured</b>
Um dano no braço é caracterizado por um nível mínimo de machucado	<b>Armlnjured</b> <i>has_scale</i> <b>MinimalHarm</b>

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Portanto, como visto na Tabela 8, os termos destacados em vermelho representam as instâncias das entidades presentes no cenário de IHM e no modelo de mundo baseado no POO dentro da ontologia OAR-IHM. Dessa forma, as relações destacadas em verde foram criadas, em tempo de execução, pela Aplicação Semântica, tarefa executada durante a Etapa 7, descrita na Seção 5.1. Para as demais triplas, o relacionamento foi definido durante a criação do modelo conceitual do contexto, na execução da Etapa 2.

Figura 24 – Fragmento do cenário de IHM modelado pelas relações da OAR-IHM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, uma vez instanciado todos os indivíduos e suas respectivas relações que descrevem o cenário de IHM, tem-se a ontologia OAR-IHM completa na Aplicação Semântica, conforme fragmento apresentado na Figura 24, sendo então possível também verificar as declarações apresentadas na Tabela 8. As consultas a ontologia podem ser feitas utilizando a linguagem SPARQL, de forma a obter as informações relacionadas aos riscos presentes no contexto. Os detalhes das consultas são apresentados na seção 5.2.7. Faz-se necessário salientar que o *framework* Apache Jena disponibiliza formas de exportar, em arquivo OWL, a ontologia completa criada em memória na Aplicação Semântica, sendo possível visualizá-la e manipulá-la pelo software Protégé.

### 5.2.5. Percepção do Mundo e Consultas na ontologia OAR-IHM

A Etapa 8 pode ser entendida como a ligação, através da API, entre a execução da Aplicação Semântica e a execução do cenário de IHM simulado pelo CoppeliaSim, possibilitando que a aplicação consulte o estado do mundo apresentado na simulação, ou seja, consulte os dados de posição dos membros do colaborador e a respectivas distâncias relativas ao robô detectado pelos sensores.

Neste contexto, baseado na execução da Etapa 8, pode-se realizar consultas do estado do mundo observado pela classe **Agent**, contida na Aplicação Semântica e descrita na Etapa 9, Seção 5.1. Essa tarefa é realizada da seguinte forma: o simulador CoppeliaSim disponibiliza uma API que possibilita o consumo de dados que

representam o estado do mundo em um dado momento da execução da simulação do cenário de IHM.

Desta forma, a classe **Agent** tem como responsabilidade perceber o estado do mundo que está sendo executado no cenário simulado de IHM e, com os dados de detecção dos sensores, bem como posição dos membros do colaborador em memória na Aplicação Semântica, consumidos através da API fornecida pelo próprio simulador, e cujo acesso se dá por objetos da classe **WorldModel**, realiza consultas na ontologia completa e obtém as respostas relacionadas aos potenciais eventos de riscos presentes no cenário. As consultas que são executadas nesta etapa serão apresentadas na subseção 5.2.7.

Portanto, caso um sensor de distância acoplado no robô identifique o braço do colaborador em uma distância muito próxima da área de atuação do robô, esse movimento caracteriza um potencial risco de colisão. Esse estado de mundo é consultado, via API, pelo agente, que em posse dos dados, consulta na ontologia a fim de obter as informações de avaliação do risco, conforme descrito na Etapa 10. Sendo assim, a entrada principal para as consultas na ontologia são os dados relacionados à distância relativa entre colaborador e robô. Por fim, o processo descrito acima é executado até que a Aplicação Semântica ou a execução da simulação do cenário de IHM seja parada.

#### 5.2.6. Inferências da OAR-IHM em um cenário de IHM

Com base no contexto do cenário de IHM apresentado na Seção 5.2.4, e como forma de verificar se o modelo criado e descrito através da ontologia OAR-IHM é consistente, foi utilizando o raciocinador Hermit Reasoner disponível no software Protégé. Desse modo, o raciocinador foi executado permitindo verificar a consistência e foram inferidas as seguintes relações entre os indivíduos instanciados, conforme destacadas e sublinhadas na Tabela 9.

**Tabela 9 - Inferências do raciocinador no contexto mínimo.**

Indivíduo	Classes Inferidas	Asserções Inferidas
CollisionWithRobot	Hazard	<u>Exposes Worker</u>

Distance	Observable Property <b><u>Feature Of Interest</u></b>	Is observed by Sensor_link4_0
MeasuredDistance	Result <b><u>Output</u></b>	<b><u>Is result of Measuring</u></b>
Measuring	Observation	Has result MeasuredDistance Observed property Distance <b><u>Implemented by Sensor link4_0</u></b>
NearRobot	HazardousEvent	Involves CollisionWithRobot causallyFollows WorkVeryCloseToRobot hasQuality RiskExposure <b><u>hasParticipant Worker</u></b>
RiskExposure	Exposure <b><u>Range</u></b>	-
RobotMotor	Actuator	Made actuation StoppingRobot <b><u>Is hosted by IBR40</u></b>
Sensor_link4_0	ProximitySensor	Implements Measuring <b><u>Is hosted by IBR40</u></b> <b><u>Observes Distance</u></b>
ShortDistance	Range <b><u>Exposure</u></b>	Triggers NearRobot
MediumDistance	Range <b><u>Exposure</u></b>	Classifies WorkWalkingEvent
LongDistance	Range <b><u>Exposure</u></b>	Classifies WorkWalkingEvent
StoppingRobot	Actuation	<b><u>Made by actuator RobotMotor</u></b>
WorkWalkingEvent	Event <b><u>Events</u></b>	<b><u>Contains Worker</u></b>

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Portanto, como apresentado nas inferências destacadas e sublinhadas na Tabela 9, a instância **Worker** está exposta à situação de risco, a qual é definida pelo conceito **NearRobot**, através da relação *hasParticipant*. De forma análoga, um sensor está acoplado a um robô através da tripla: **Sensor\_link4\_0 is\_hosted\_by IBR40**. Também, a relação entre indivíduos do modelo conceitual inicial, como o evento que representa o deslocamento do colaborador, e o próprio colaborador, cujo indivíduo é instanciado em tempo de execução pela Aplicação Semântica, conforme etapa 6 da Seção 5.2, é representado pela tripla: **WorkWalkingEvent Contains Worker**. As inferências apresentadas estão em conformidade com o que fora apresentado na proposta da OAR-IHM, vista no Capítulo 4, ilustradas pelas Figuras 16 e 17.

### 5.2.7. Consultas na ontologia OAR-IHM

Baseado no exemplo apresentado na subseção 5.2.4, nos indivíduos e suas respectivas relações criadas na OAR-IHM, são definidas consultas na ontologia capazes de retornar à avaliação do risco presentes nos cenários de IHM simulados, conforme descrito na Etapa 9.

Desta forma, entende-se como requisitos para as consultas a necessidade de se identificar o tipo de risco presente no cenário de IHM, o evento que gera o risco, bem como sua causa e consequência. Além disso, é de interesse a identificação do dano sofrido pelo colaborador, o nível do dano sofrido, bem como a parte do corpo afetada. Também, caso um evento não possua riscos, este é passível de ser identificado. Por fim, as consultas devem se relacionar com a distância relativa entre a fonte de risco – um robô ou maquinário – e o colaborador presente no cenário de IHM.

Com base neste contexto, são determinadas as principais consultas na ontologia OAR-IHM, utilizando a linguagem SPARQL, para obtenção dos resultados de classificação e avaliação de riscos. Para tanto, foi utilizado o software Protégé, utilizando a funcionalidade denominada SPARQL Query. Uma vez criada, as consultas serão executadas na Aplicação Semântica pelo *framework* Apache Jena, conforme descrito na Etapa 9 da Seção 5.2

Além disso, para possibilitar a execução das consultas, é necessário o uso de prefixos que as antecedem. Esses prefixos identificam termos das ontologias utilizadas para a confecção da OAR-IHM, como as ontologias *Hazardous Situation* e SSN.

Assim, para facilitar a realização das consultas serão utilizados os prefixos que podem ser vistos na Tabela 10. Desta forma, todo termo, como classe ou relação entre indivíduos, relacionado à ontologia do contexto de riscos, a *Hazardous Situation*, será referenciado na consulta através do prefixo *reo*. O mesmo prefixo é utilizado para os termos criados na proposta da OAR-IHM. De forma análoga, todo termo relacionado à ontologia SSN, do contexto de máquinas, será referenciado através do prefixo *ssn*.



**Tabela 10 - Prefixos necessários para execução das consultas SPARQL.**

Prefixos	Referência
PREFIX reo: <http://semantic.cs.put.poznan.pl/ontologies/oshdo/RiskEvaluationOntology#>	Ontologia <i>Hazardous Situation</i>
PREFIX ssn: <http://www.w3.org/ns/ssn/>	Ontologia SSN
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>	RDF e RDFS
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>	OWL
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>	XML

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Uma forma de realizar em SPARQL é exibido na Tabela 11. Nesta consulta em SPARQL o objetivo é identificar na ontologia o evento (*?event*), bem como a causa (*?cause*), consequência (*?consequence*) e o tipo de risco (*?hazardType*) relacionados. A condição necessária para o sucesso da consulta, depende da distância relativa entre um colaborador e um maquinário, caracterizada pela variável *distanceSensor*. Essa consulta pode ser feita durante os processos de execução das etapas 8 e 9, apresentado na Seção 5.2, uma vez que o agente percebe mudanças no mundo e, baseado nessas mudanças, tais como: distância relativa entre colaborador e maquinário; utiliza esse parâmetro para consultar eventuais riscos no momento para obter a avaliação.

**Tabela 11 - Consulta SPARQL para identificação do risco.**

Consulta SPARQL para identificação do risco
<pre> &lt;PREFIXOS&gt;  SELECT ?event ?cause ?consequence ?hazardType WHERE {     ?range reo:has_maximum ?valueMax .     ?range reo:has_minimum ?valueMin .     ?range reo:triggers ?event .     ?event reo:causallyFollows ?cause .     ?cause reo:causes ?consequence .     ?event reo:involves ?hazardType .     FILTER( <u>distanceSensor</u> &gt;= ?valueMin &amp;&amp; <u>distanceSensor</u> &lt;= ?valueMax ) } </pre>

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O próximo exemplo de consulta, exibida na Tabela 12, foi definido para permitir recuperar da Ontologia o risco em questão (*?hazard*), os eventuais danos (*?injure*), o nível causado pelo dano (*?injureScale*), a parte do corpo afetada (*?bodyPart*) e o nome do colaborador (*?workerName*). Essa consulta pode ser interpretada da seguinte forma: para uma eventual colisão, dependendo da parte do corpo afetada, tem-se um ferimento que pode ser classificado em uma escala. Para fins de simplificação, essa escala pode ser um ferimento mínimo, médio, crítico ou fatal.

**Tabela 12 - Consulta SPARQL para identificação de danos ao colaborador.**

#### Consulta SPARQL para identificação de danos ao colaborador

##### <PREFIXOS>

```
SELECT ?hazard ?injure ?injureScale ?bodyPart ?workerName
WHERE {
    ?hazardEvent reo:involves ?hazard .
    ?hazardEvent reo:causallyFollows ?cause .
    ?cause reo:causes ?consequence .
    ?consequence reo:has_injure ?injure .
    ?injure reo:has_scale ?injureScale .
    ?bodyPart reo:has_body_injured ?injure .
    ?workerName reo:has_body_part ?bodyPart
}
```

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Por fim, a consulta da Tabela 13 foi criada para identificar eventos que não caracterizam potenciais riscos. Tais eventos podem representar um simples deslocamento do colaborador de um ponto 'A' a um ponto 'B' onde não há maquinários que ofereçam riscos de colisão ou maiores danos.

**Tabela 13 - Consulta SPARQL para identificação de evento sem risco.**

#### Consulta SPARQL para identificação de evento sem risco

##### <PREFIXOS>

```
SELECT ?event ?range
WHERE {
    ?range reo:has_maximum ?valueMax .
    ?range reo:has_minimum ?valueMin .
    ?range reo:classifies ?event
}
```

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Portanto, durante a execução da simulação e execução da Aplicação Semântica, conforme descritas nas etapas apresentadas na Seção 5.2, essas consultas serão executadas ao longo do ciclo de vida desse sistema, ou seja, a cada visualização das variáveis do mundo, por parte do agente, as consultas serão realizadas de forma a obterem resultados pertinentes sobre os riscos presentes no cenário.

Por fim, o próximo capítulo objetiva apresentar os resultados obtidos nos experimentos realizados utilizando a metodologia implementada no sistema proposto em diferentes cenários simulados.

## 6. Resultados do Experimento

Este capítulo tem por objetivo apresentar os resultados colhidos através do uso da ontologia OAR-IHM em cenários simulados. Para tanto, os cenários apresentados foram confeccionados baseados nas pesquisas realizadas ao longo do desenvolvimento do presente trabalho.

### 6.1. Visão geral dos Experimentos

Materiais presentes em mídias sociais oferecem conteúdo para idealização dos cenários simulados, como o caso da Universal Robots<sup>9</sup> e do Instituto Politécnico de Bragança – CeDRI<sup>10</sup>, em Portugal. Também, baseado no contexto abordado no Capítulo 2, Seção 2.1 desta dissertação, os cenários apresentados são descritos baseados em uma fonte de risco (robô), o gatilho (movimento do colaborador na área de atividade do robô), o alvo (colaborador), gerando eventuais danos, conforme os apresentados no Capítulo 2, Seção 2.2, como: colisão mecânica, hematomas, produtos químicos e impactos.

Além disso, são assumidas algumas hipóteses simplificadoras nos cenários, tal como: abstração da fusão sensorial capaz de identificar partes dos corpos humanos presentes nas cenas, além dos sensores de distâncias fixados ao longo dos robôs. Também, assume-se que os colaboradores não estão usando equipamentos de proteção individual (EPI), e para cada cenário, é determinado um suposto nível de risco para cada dano a fim de validar a proposta. Tais níveis são criados apenas como forma de validar a proposta.

Assim, com base na metodologia apresentada na Seção 5.2 do Capítulo 5, a ontologia OAR-IHM é utilizada para criação das instâncias das entidades presentes nos cenários simulados de IHM propostos e apresentados ao longo das próximas seções. Neste contexto, tem-se as seguintes etapas para a execução e obtenção dos resultados relacionados aos cenários:

---

<sup>9</sup> <https://www.youtube.com/user/UniversalRobotsVideo>

<sup>10</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=0qYZmvgkkuE>

1. Definição e criação dos cenários de IHM no simulador CoppeliaSim, conforme Etapa 1;
2. Criação do modelo conceitual dos cenários de IHM utilizando o software Protégé, gerando um arquivo OWL para ser processado por parte da Aplicação Semântica, o qual contém as descrições dos principais conceitos abstratos presentes nas cenas – aqueles que não são passíveis de serem obtidos através da API do simulador CoppeliaSim, conforme Etapa 2;
3. Execução da Aplicação Semântica e execução das simulações no CoppeliaSim para que as Etapas 3 a 11 possam ser executadas, ou seja, para que os indivíduos sejam instanciados e relacionados na ontologia OAR-IHM pela aplicação, através do *framework* Apache Jena, e possibilitando as consultas necessárias na ontologia.

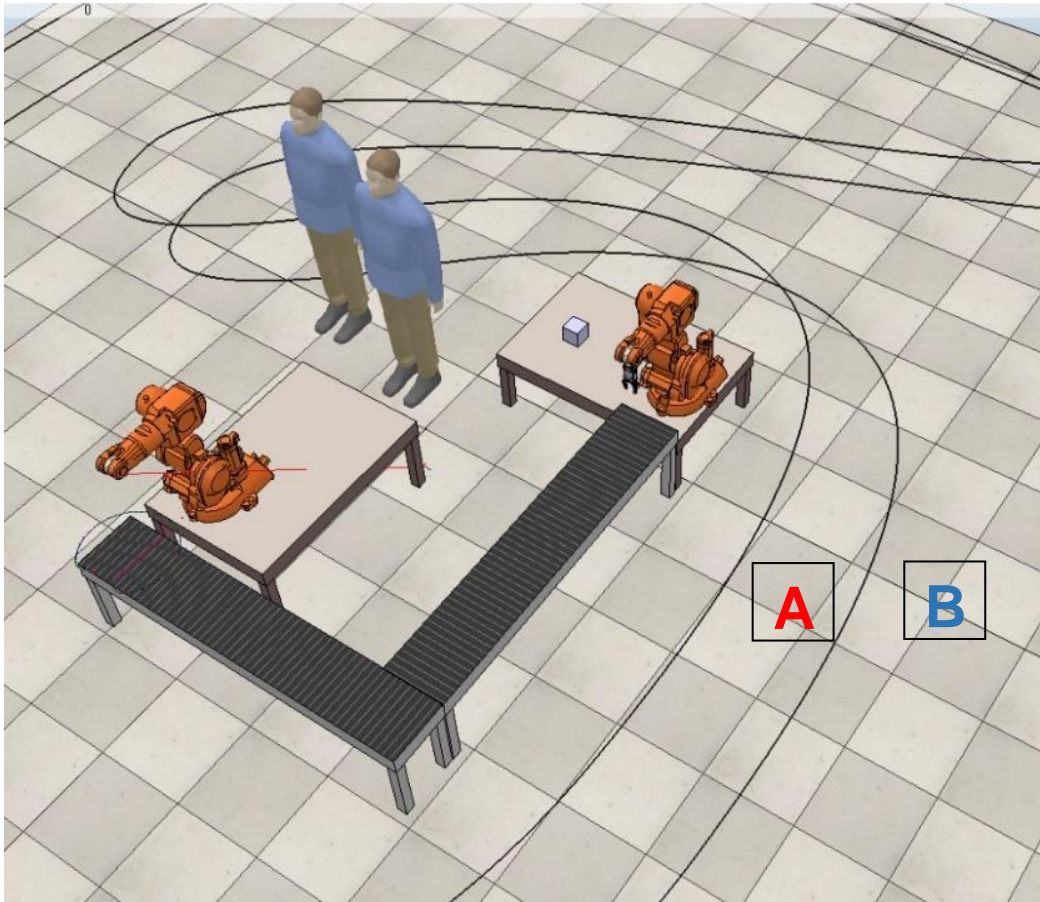
Portanto, a seguir, são discutidos os resultados para cada cenário, bem como demonstrados os indivíduos criados durante a execução da aplicação e a avaliação do risco presente em cada cenário. Para a avaliação dos resultados das análises dos riscos nos cenários propostos, foram estabelecidos os seguintes requisitos: verificar se a ontologia OAR-IHM atende os requisitos para a descrição dos cenários e dos riscos; e, se os riscos foram identificados.

## **6.2. Cenário de caminhada**

O cenário, apresentado na Figura 25, foi construído para permitir simular as possíveis caminhadas percorridas por colaboradores, sendo que um deles avançará a área de atuação do robô manipulador, destacado no ponto A, correndo riscos de colisão enquanto os robôs executam uma tarefa de reposição de caixas em uma esteira. Em contrapartida, um outro colaborador não estará exposto ao risco, destacado pela trajetória no ponto B, sendo caracterizado como um evento comum.

Em caso de colisão, quando o colaborador está realizando o trajeto A, é definido que o robô pode gerar um acidente na região do quadril. Para fins de escala, tal acidente deve ser classificado como danos médios.

Figura 25 - Destaque da trajetória a ser realizada pelo colaborador.

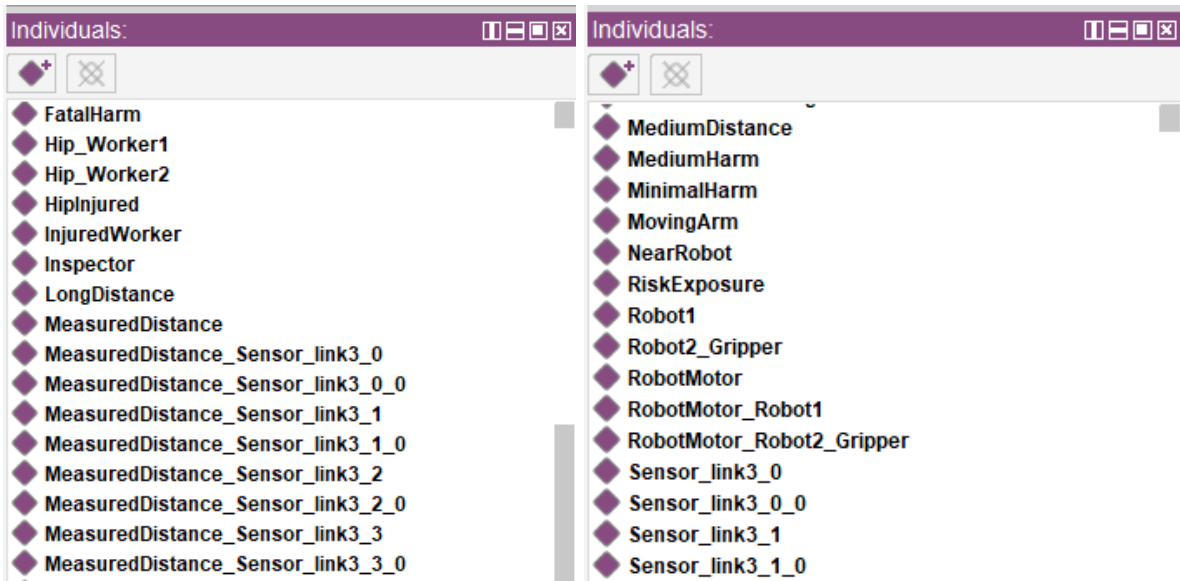


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A avaliação do cenário, identificando uma possível colisão e o risco envolvido, é objetivo de classificação por parte das consultas na OAR-IHM. Baseado nisso, utilizando como entradas para a Aplicação Semântica o modelo conceitual, apresentado na subseção 5.2.2, em conjunto com os dados fornecidos pelo simulador CoppeliaSim, os seguintes fragmentos dos indivíduos instanciados na ontologia pela aplicação podem ser vistos na Figura 26.

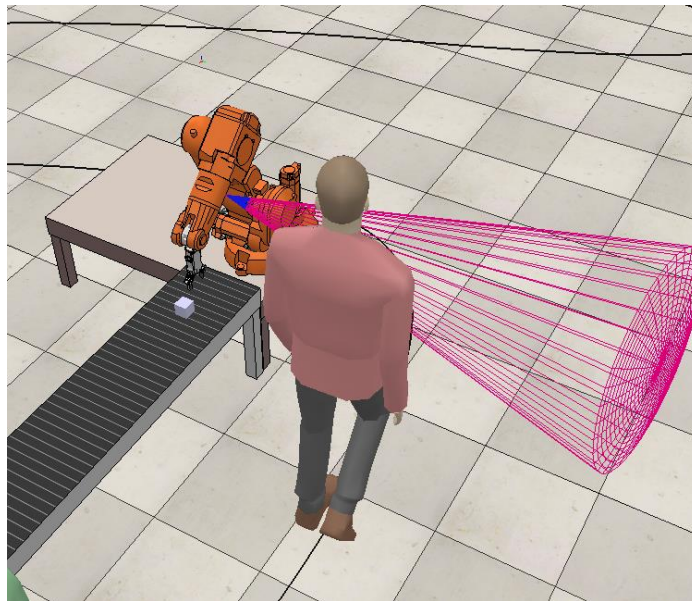
Neste contexto, exceto pelas instâncias fornecidas pelo modelo conceitual inicial definido para este cenário, conforme Etapa 1, as demais entidades presentes no cenário de IHM simulado, conforme Etapa 2, são criadas em tempo de execução, referindo-se às Etapas 5 e 6 do fluxo de execução do experimento, apresentado na Seção 5.2. Como exemplo, os indivíduos com a nomenclatura “Sensor\_link” e “RobotMotor” foram instanciados por essas etapas, bem como suas relações.

Figura 26 – Fragmento da relação de indivíduos para o cenário de caminhada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 - Saída da aplicação ao detectar um colaborador em "ShortDistance".



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 27 ilustra a situação em que o colaborador é identificado pelos sensores, sendo que através da distância, o tipo de evento é consultado na OAR-IHM. Os cones destacados representam a faixa de detecção dos sensores. Nesse caso, para melhor ilustração, um único sensor teve a faixa de detecção estendida para contemplar os intervalos de distâncias definidos na ontologia.

Como exemplo, é estipulado que distâncias menores que 0.8 metros são “*ShortDistance*”, o que dispara um evento perigoso. A aplicação tem os resultados das consultas na ontologia, conforme etapa 9 descrita na Seção 5.2, apresentados na Tabela 14, a seguir.

**Tabela 14 - Resultados do cenário de caminhada com risco.**

Questão	Resposta
Worker2 detected at distance:	0.7946597590852477
Detected body part:	Worker2_Hip
Event:	NearRobot
Cause:	WorkerVeryCloseToRobot
Consequence:	InjuredWorker
HazardType:	CollisionWithRobot
WorkerName:	Worker2
BodyPart:	Worker2_Hip
Injure:	HipInjured
InjureScale:	MediumHarm

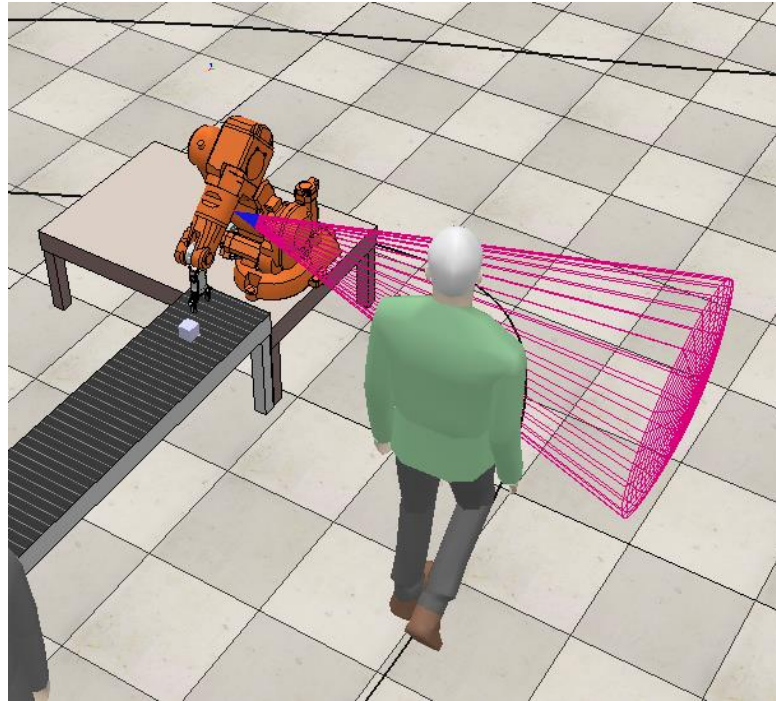
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O resultado da análise de risco do cenário é apresentado na Tabela 14, podendo ser interpretada da seguinte forma: o colaborador (*Worker2*) foi detectado a uma distância aproximada de 0.79 metros. Além disso, a parte do corpo detectada foi o quadril (*Worker2\_Hip*). Para esse cenário, um evento (*NearRobot*) é tido como um evento de risco, sendo que a causa (*WorkerVeryCloseToRobot*) é o colaborador estar muito próximo ao maquinário – podendo resultar em um acidente com consequências de injúrias ao colaborador (*InjuredWorker*). Por fim, para este cenário, o risco é de colisão (*CollisionWithRobot*), sendo classificado como um dano médio (*HipInjured*) no quadril.

Para situações em que o colaborador está a uma distância acima de 0.8m a 1.6m, tem-se uma classificação *MediumDistance* e acima disso, *LongDistance*, ambas caracterizando eventos sem risco, definidos por *WorkWalkingEvent*, conforme ilustrados na Figura 28 e Tabela 15, respectivamente.



Figura 28 - Detecção de um colaborador em "MediumDistance".



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 - Resultados do cenário de caminhada sem risco

Questão	Resposta
Worker1 detected at distance:	1.002208484902154
Detected body part:	Worker1_Hip
Event:	WorkWalkingEvent
Range:	MediumDistance

Fonte: Elaborado pelo autor.

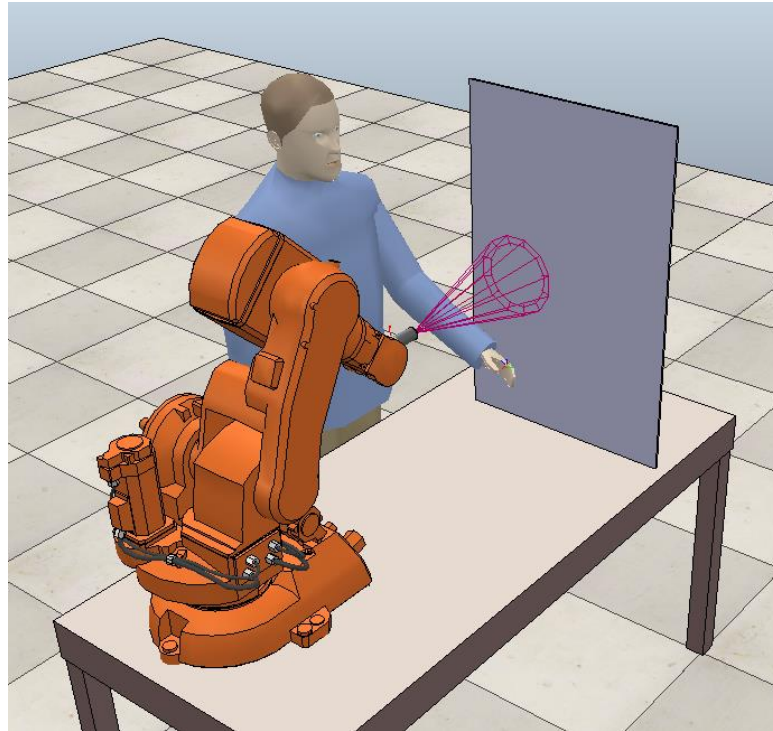
O resultado da análise de risco é apresentado na Tabela 15, onde o colaborador (*Worker1*) é detectado a uma distância de aproximadamente 1 metro. A parte do corpo detectada é a região do quadril (*Worker1\_Hip*) e com base na distância aferida, cujo range é classificado como médio (*MediumRange*), o evento é apenas de uma caminhada em trajetória sem risco de acidentes (*WorkWalkingEvent*).

### 6.3. Cenário de pintura

O cenário apresentado na Figura 29 foi construído para permitir simular a ação de um robô manipulador executando a tarefa de pintura. Sendo assim, caso o colaborador avance na área de atuação do robô durante a atividade, com movimentos dos braços, há um risco potencial de colisão e demais prejuízos, como pintura mal

executada ou não realizada. Também, irritações na pele podem acontecer, para tanto, é definido danos mínimos para este cenário.

Figura 29 - Colaborador invadindo área de atuação em uma atividade de pintura.

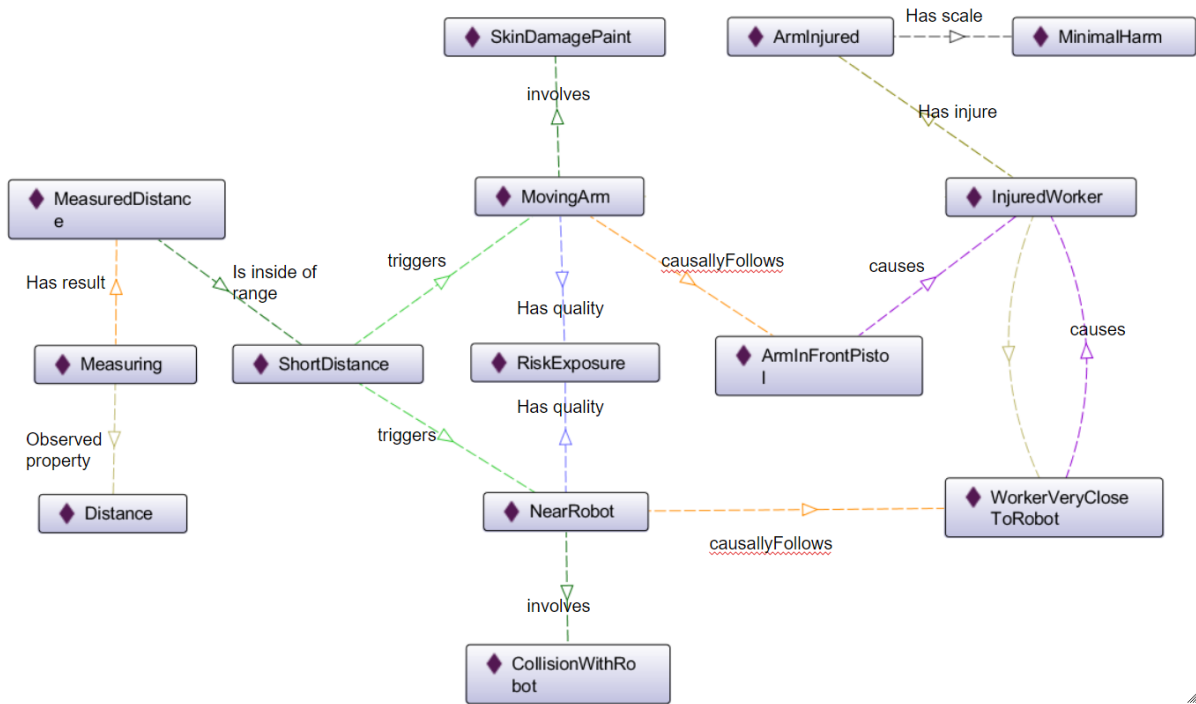


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Neste contexto, baseado no cenário de IHM apresentado e conforme execução das Etapas 1 e 2 apresentadas na Seção 5.2 do Capítulo 5, um modelo conceitual inicial é criado, o qual pode ser visto na Figura 30.

Para este modelo conceitual inicial, além da instância que representa o risco de o colaborador colidir com o robô (*CollisionWithRobot*), conforme apresentado na subseção 5.2.2 do capítulo anterior, é necessário a instanciação do indivíduo que representa o risco de danos na sua pele (*ArmInFrontPistol*), devido ao possível contato da tinta com a pele.

Figura 30 – Modelo conceitual inicial para o cenário de pintura



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, a Tabela 16 resume as descrições presentes no modelo conceitual do contexto, que foi definido a partir da criação do cenário de IHM, em forma de triplas, relacionando sujeito, predicado e objeto. Portanto, as principais relações entre os indivíduos e os conceitos de riscos presentes no cenário são apresentadas, também é destacado o conceito de danos ao colaborador (*InjuredWorker*). Além disso, o conceito para relacionar o nível de machucado do colaborador é definido, sendo o dano no braço (*ArmlnInjured*) definido como mínimo (*MinimalHarm*).

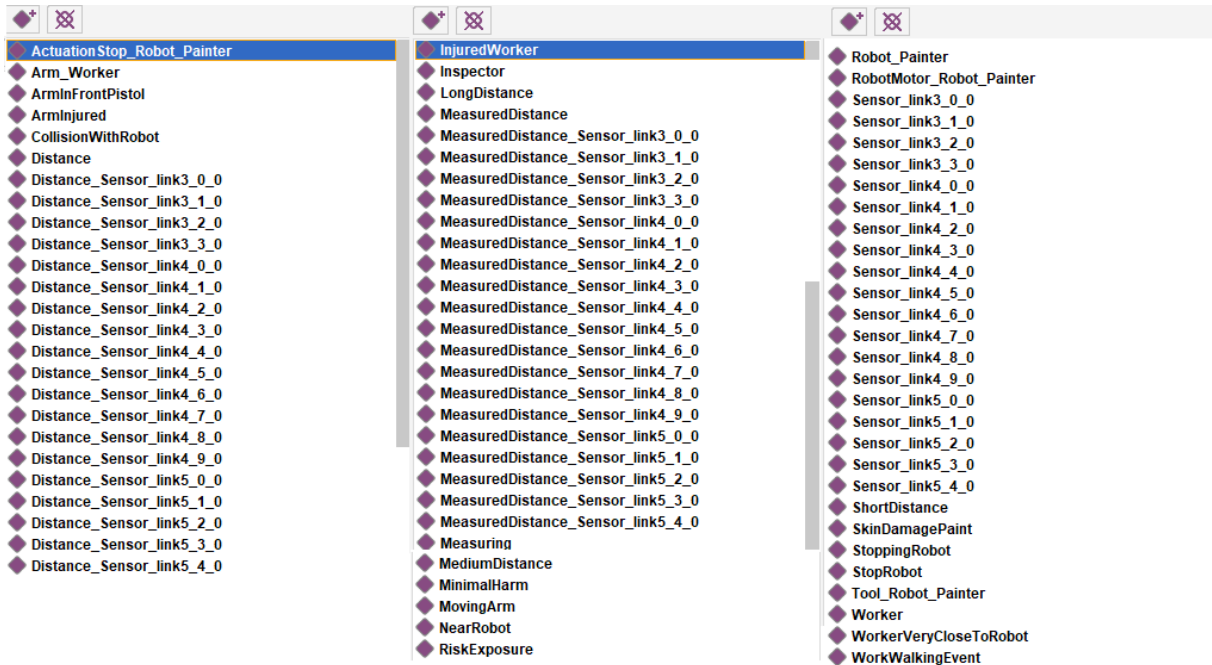
Tabela 16 – Descrições e triplas correspondentes do cenário de pintura.

Descrição	Tripla
Proximidade entre robô e colaborador pode levar à colisão	NearRobot <i>involves</i> CollisionWithRobot
Movimento do braço do colaborador pode levar a danos na pele	MovingArm <i>involves</i> SkinDamagePaint
Colisão leva a danos ao colaborador	WorkerVeryCloseToRobot <i>cause</i> InjuredWorker
Movimento do braço, se obstruindo o jato de tinta lançado pela pistola	ArmlnFrontPistol <i>cause</i> InjuredWorker

Danos no braço do colaborador são caracterizados como nível mínimo	ArmInjured <i>has_scale</i> MinimalHarm
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 - Relação de indivíduos para o cenário de pintura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, uma vez executada todas as etapas apresentadas na Seção 5.2, tem-se a ontologia completa para o cenário descrito, a qual é a base para consulta de avaliação de riscos. O fragmento dos indivíduos instanciados nessa ontologia é ilustrado na Figura 31, como exemplo: indivíduos com a nomenclatura “Sensor\_link” e “Robot\_Painter” foram criados em tempo de execução.

Os resultados das análises de riscos para o cenário de pintura estão apresentados nas Tabelas 17 e 18, para riscos de colisão e riscos de danos na pele, respectivamente.

Tabela 17 - Resultados do cenário de pintura com risco de colisão.

Questão	Resposta
Worker detected at distance:	0.5216043947398366
Detected body part:	Worker_Arm
Event:	NearRobot
Cause:	WorkerVeryCloseToRobot
Consequence:	InjuredWorker

HazardType:	CollisionWithRobot
WorkerName:	Worker
BodyPart:	Woker_Arm
Injure:	ArmInjured
InjureScale:	MinimalHarm

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Baseado nos conceitos e relações apresentadas na Tabela 17, pode-se considerar que o colaborador (*Worker*) tem o seu braço (*Worker\_Arm*) detectado pelos sensores acoplados ao robô. Essa situação caracteriza um evento (*NearRobot*) de risco de colisão (*CollisionWithRobot*), que tem como causa a distância próxima ao robô (*WorkerVeryCloseToRobot*) e como consequência danos ao colaborador (*InjuredWorker*). Para este cenário, é definido que danos ocorridos no braço são mínimos.

**Tabela 18 - Resultados do cenário de pintura com risco de danos na pele.**

Questão	Resposta
Worker detected at distance:	0.5216043947398366
Detected body part:	Worker_Arm
Event:	MovingArm
Cause:	ArmInFrontPistol
Consequence:	InjuredWorker
HazardType:	SkinDamagePaint
WorkerName:	Worker
BodyPart:	Woker_Arm
Injure:	ArmInjured
InjureScale:	MinimalHarm

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

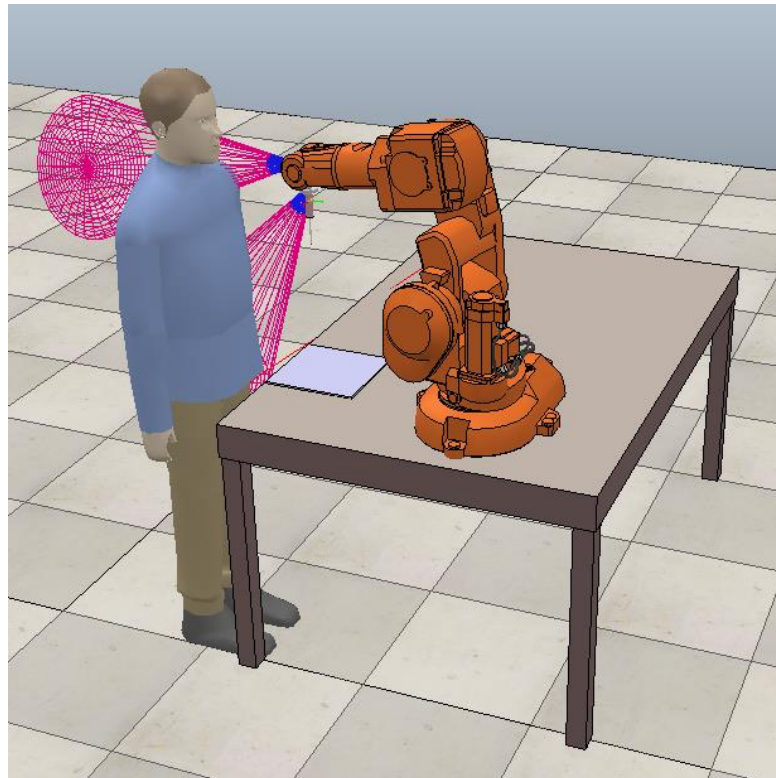
De forma análoga, a Tabela 18 mostra que o movimento do braço é um evento de risco (*MovingArm*), tendo como causa o braço obstruindo a pistola de tinta (*ArmInFrontPistol*) e como consequência danos mínimos (*MinimalHarm*) na pele do colaborador (*SkinDamagePaint*).

#### 6.4. Cenário de soldagem

O cenário apresentado na Figura 32 foi construído para permitir simular a ação de um robô manipulador executando a tarefa de soldagem. Sendo assim, caso o

colaborador avance na área de atuação do robô durante a atividade, com movimentos de braços, há um risco potencial de colisão e demais injúrias, como ferimentos críticos nos membros superiores e demais partes do corpo, podendo levar a danos fatais.

Figura 32 – Colaborador invadindo área de atuação em uma atividade de soldagem.

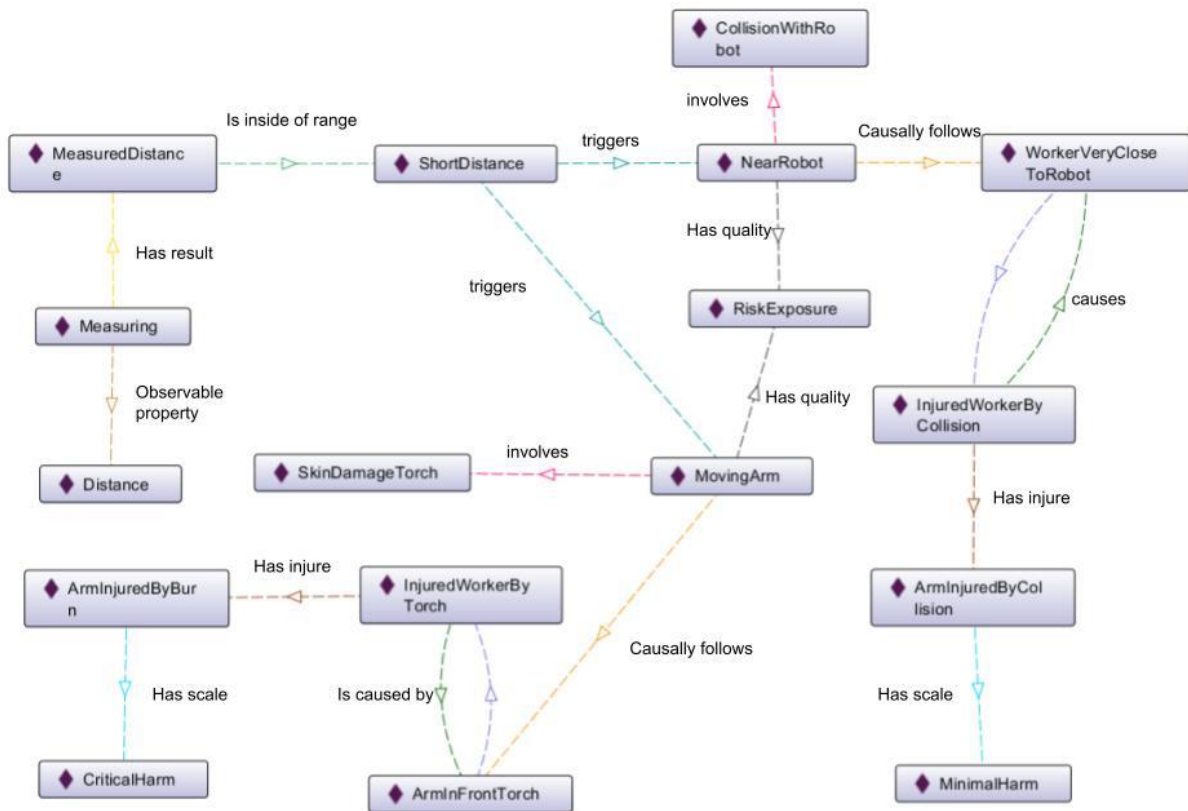


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para o cenário de soldagem é necessário a definição dos indivíduos em modelo conceitual inicial, conforme ilustrado na Figura 33. Para tanto, são considerados riscos de colisão (*CollisionWithRobot*) e danos na pele do colaborador devido ao robô em conjunto com a ponta de solda (*SkinDamageTorch*). Assim, uma vez definido o modelo conceitual e, juntamente com a criação da simulação do cenário no simulador *CoppeliaSim*, a Aplicação Semântica pode ser executada recebendo como entrada esses dados, seguindo etapas apresentadas na Seção 5.2.



Figura 33 – Modelo conceitual inicial para o cenário de soldagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como forma de apresentar as principais descrições presentes no modelo conceitual criado, bem como suas respectivas triplas, a Tabela 19 é apresentada. Assim, é necessário destacar que há dois conceitos distintos definidos para os eventuais machucados do colaborador, sendo os ocasionados pela colisão (InjuredWorkerByCollision) e os ocasionados na pele (InjuredWorkerByTorch). Além disso, também são criados dois diferentes conceitos para relacionar o nível de machucados do colaborador, sendo o nível causado pela colisão (ArmInjuredByCollision), definido como mínimo (MinimalHarm); e nível causado pela queimadura (ArmInjuredByBurn), definido como crítico (CriticalHarm).

**Tabela 19 – Descrições e triplas correspondentes do cenário de soldagem.**

Descrição	Tripla
Proximidade entre robô e colaborador pode levar à colisão	NearRobot <i>involves</i> CollisionWithRobot
Movimento do braço do colaborador pode levar a danos na pele	MovingArm <i>involves</i> SkinDamageTorch

Colisão leva a danos ao colaborador	WorkerVeryCloseToRobot <i>cause</i> InjuredWorkerByCollision
Movimento do braço obstruindo o trajeto da ponta de solda	ArmInFrontPistol <i>cause</i> InjuredWorkerByTorch
Nível do dano causado pela colisão	ArmInjuredByCollision <i>has_scale</i> MinimalHarm
Nível do dano causado pela queimadura da ponta de solda	ArmInjuredByBurn <i>has_scale</i> CriticalHarm

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Dessa forma, quando a Aplicação Semântica é executada, recebendo como entrada o modelo conceitual definido e os dados do simulador, a ontologia OAR-IHM com todas as instâncias dos indivíduos é gerada. Assim, executando as consultas na ontologia para obter a avaliação dos riscos, os resultados são apresentados nas tabelas 20 e 21.

**Tabela 20 - Resultados do cenário de soldagem com risco de colisão.**

Questão	Resposta
Worker detected at distance:	0.6336089944396889
Detected body part:	Worker_Arm
Event:	NearRobot
Cause:	WorkerVeryCloseToRobot
Consequence:	InjuredWorkerByCollision
HazardType:	CollisionWithRobot
WorkerName:	Worker
BodyPart:	Woker_Arm
Injure:	ArmInjuredByCollision
InjureScale:	MinimalHarm

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para os resultados de risco de colisão apresentados na Tabela 20, constata-se que um colaborador (*Worker*) tem seu braço (*Worker\_Arm*) detectado a uma distância de aproximadamente 0.63 metros. Como consequência, é caracterizado um evento de risco (*NearRobot*), o qual pode ocasionar uma possível colisão (*CollisionWithRobot*). Isso se deve ao fato de o colaborador estar próximo ao robô (*WorkerVeryCloseToRobot*) e tendo como consequência danos físicos por colisão (*InjuredWorkerByCollision*).



Porém, caso o colaborador faça movimentos com o braço capazes de obstruir a ponta de solda (*ArmInFrontTorch*), tem-se um evento perigoso (*MovingArm*) que caracteriza riscos de danos na pele (*SkinDamageTorch*) e que tem por consequência (*InjuredWorkerByTorch*) danos (*ArmInjuredByBurn*) considerados críticos (*CriticalHarm*). Esses resultados do cenário de soldagem com risco de danos na pele são apresentados na Tabela 21.

**Tabela 21 - Resultados do cenário de soldagem com risco de danos na pele.**

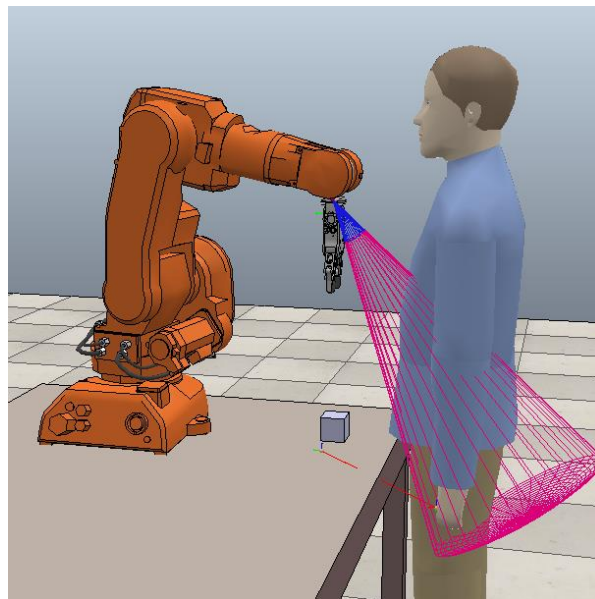
Questão	Resposta
Worker detected at distance:	0.6336089944396889
Detected body part:	Worker_Arm
Event:	MovingArm
Cause:	ArmInFrontTorch
Consequence:	InjuredWorkerByTorch
HazardType:	SkinDamageTorch
WorkerName:	Worker
BodyPart:	Worker_Arm
Injure:	ArmInjuredByBurn
InjureScale:	CriticalHarm

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 6.5. Cenário de garra

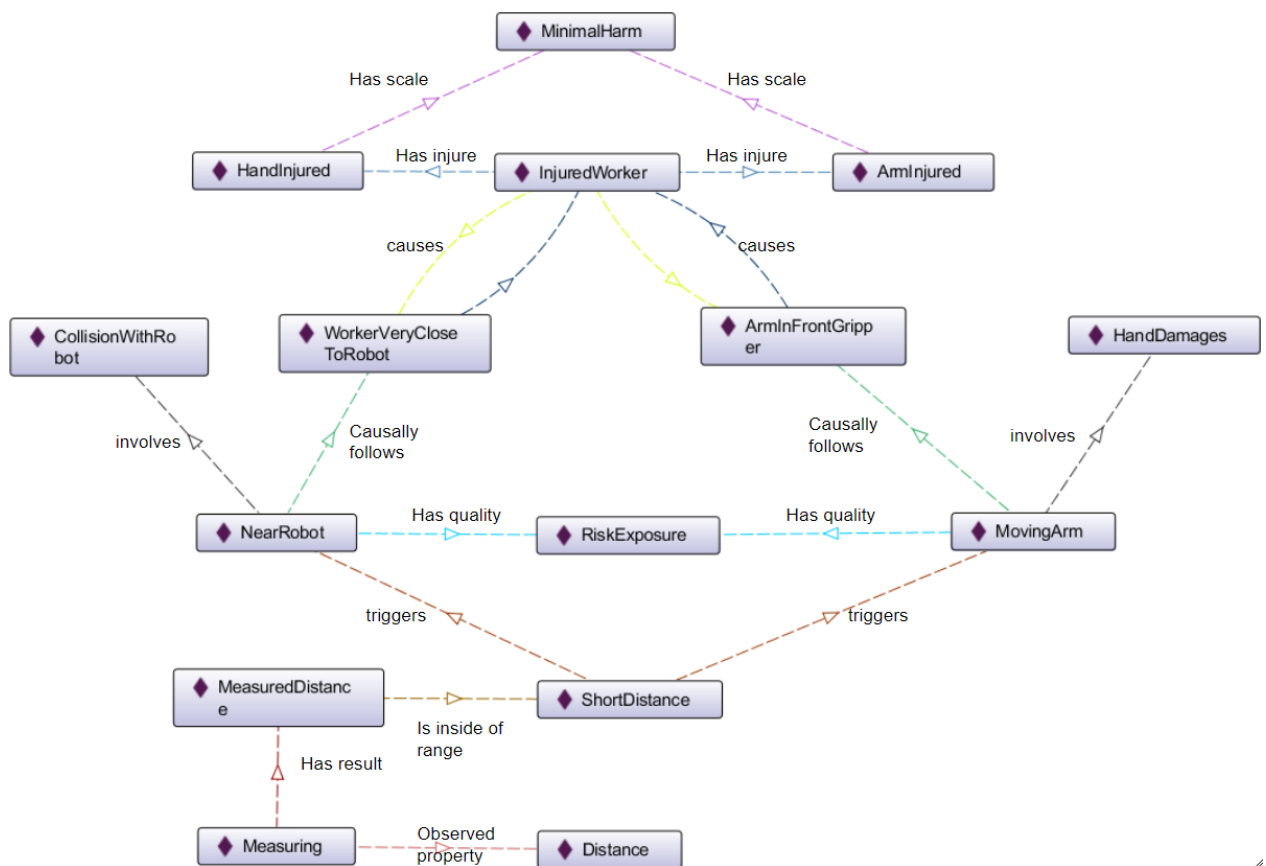
O cenário, apresentado na Figura 34, foi construído para permitir simular a ação de um robô manipulador executando a tarefa separação de caixas com o uso de uma garra. Sendo assim, caso o colaborador avance na área de atuação do robô durante a atividade, há um risco potencial de colisão e demais injúrias, como ferimentos nas mãos e braços. Tal cenário é dito como potencial de danos mínimos.

Figura 34 - Colaborador invadindo área de atuação em uma atividade de separação de caixas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 – Modelo conceitual inicial para o cenário de garra



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o presente cenário é necessário a definição dos indivíduos em uma modelo conceitual inicial, conforme ilustrado na Figura 35. Neste cenário, é considerado risco de danos mínimos nas mãos, correspondendo aos danos causados por colisão (*CollisionWithRobot*) e os danos causados pela garra (*HandDamages*).

Dessa forma, a Tabela 22 apresenta, em forma de tripla, as principais relações entre os indivíduos e os conceitos de riscos presentes no cenário de garra. Assim, é necessário destacar o conceito de danos ao colaborador (*InjuredWorker*). Além disso, também são criados dois diferentes conceitos para relacionar o nível de machucados do colaborador, sendo o nível causado pela colisão (*HandInjured*) e o nível causado pela tinta em contato com a pele (*ArmInjured*), ambos definido como mínimo (*MinimalHarm*).

**Tabela 22 – Descrições e triplas correspondentes do cenário de garra.**

Descrição	Tripla
Proximidade entre robô e colaborador pode levar à colisão	<i>NearRobot involves CollisionWithRobot</i>
Movimento do braço do colaborador pode levar a danos na pele	<i>MovingArm involves HandDamages</i>
Colisão leva a danos ao colaborador	<i>WorkerVeryCloseToRobot cause InjuredWorker</i>
Movimento do braço obstruindo o trajeto da ponta de solda	<i>ArmInFrontGripper cause InjuredWorker</i>
Nível do dano causado pela colisão	<i>ArmInjured has_scale MinimalHarm</i>
Nível do dano causado pela queimadura da ponta de solda	<i>HandInjured has_scale MinimalHarm</i>

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Para os resultados das consultas em SPARQL na ontologia OAR-IHM, apresentados na Tabela 23, seguindo a Etapa 9 da seção 5.2, tem-se o seguinte entendimento: O colaborador (*Worker*) tem seu braço (*Worker\_Arm*) detectado a uma distância de aproximadamente 0.74 metros. O evento (*NearRobot*) é de risco, o qual pode ocasionar uma colisão (*CollisionWithRobot*), pois o colaborador está muito próximo ao robô (*WorkerVeryCloseToRobot*). Desta forma, esse evento tem como consequência danos físicos por colisão (*InjuredWorker*). Neste cenário é considerado risco mínimo (*MinimalHarm*).

**Tabela 23 - Resultados do cenário de garra com risco de colisão.**

Questão	Resposta
Worker detected at distance:	0.7406835913341762
Detected body part:	Worker_Arm
Event:	NearRobot
Cause:	WorkerVeryCloseToRobot
Consequence:	InjuredWorker
HazardType:	CollisionWithRobot
WorkerName:	Worker
BodyPart:	Woker_Arm
Injure:	ArmInjured
InjureScale:	MinimalHarm

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Porém, caso o colaborador faça movimentos com o braço, obstruindo o caminho da garra (*ArmInFrontGripper*), é caracterizado um evento perigoso (*MovingArm*) que apresenta riscos de danos na mão (*HandDamages*) e que tem por consequência (*InjuredWorker*) danos (*HandInjured*) considerados mínimos (*MinimalHarm*), conforme visto na Tabela 24.

**Tabela 24 - Resultados do cenário de garra com risco de danos na mão.**

Questão	Resposta
Worker detected at distance:	0.7406835913341762
Detected body part:	Worker_Arm
Event:	<i>MovingArm</i>
Cause:	<i>ArmInFrontGripper</i>
Consequence:	<i>InjuredWorker</i>
HazardType:	<i>HandDamages</i>
WorkerName:	Worker
BodyPart:	Woker_Arm
Injure:	<i>HandInjured</i>
InjureScale:	MinimalHarm

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Por fim, o próximo capítulo apresenta as considerações finais do presente trabalho. Para tanto, resgata resumidamente a proposta e aponta os objetivos atingidos, sugestões de melhorias e trabalhos futuros.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de Segurança e Saúde Ocupacional evolui ao passo que as tecnologias aplicadas nas indústrias evoluem devido aos avanços da Indústria 4.0. Dessa forma, dentro do cenário industrial, com a Interação Humano-Máquina presente, novos cenários de riscos são apresentados. Sendo assim, a demanda de análise e identificação desses riscos em ambientes compartilhados, os quais envolvem seres humanos e máquinas, aumentou e, com isso, identificar, classificar e monitorar novos riscos passou a demandar abordagens que utilizam sistemas computacionais com tecnologias avançadas de sistemas de informação, compartilhamento de dados e web semântica, garantindo melhor cooperação e exploração das capacidades das máquinas em conjunto com os seres humanos, e portanto, um ambiente mais seguro.

Neste contexto, e baseado nos estudos apresentados no Capítulo 3, conclui-se que abordagens utilizando ontologias capazes de descrever o contexto de avaliação dos riscos não fornecem grande expressividade semântica quando aplicado no contexto da IHM. Também, é constatado que o enfoque da ontologia SSN, a qual foi utilizada na abordagem proposta para criação da OAR-IHM, é de descrever o contexto de máquinas e sensores, não oferecendo, portanto, descrições no contexto de análise de riscos em cenários de IHM. Além disso, os estudos demonstram que as abordagens com enfoque em cenários de IHM não fazem o uso de descrições semânticas suficientes capazes de avaliar riscos nesses cenários.

Dessa forma, a ontologia OAR-IHM, apresentada no Capítulo 4, foi proposta para cobrir o cenário de análise de riscos em ambientes compartilhados contendo IHM. Para tanto, foram reutilizados termos das ontologias SSN e *Hazardous Situation* e desenvolvidos novos termos para essa finalidade. Dessa forma, essa abordagem busca oferecer expressividade semântica para o contexto a fim classificar um potencial risco, bem como fornecer a possibilidade de descrever as demais entidades e relações dentro deste contexto, exemplo: composição do maquinário, sensores, seres-humanos, suas respectivas qualificações baseadas nas atividades, papéis, entre outras.

Assim, para avaliar os riscos em diferentes cenários simulados de IHM utilizando a ontologia OAR-IHM, no Capítulo 5 foi proposto uma metodologia e uma

aplicação foi implementada. A aplicação consome dados, através de uma API, do simulador CoppeliaSim, o qual permite confeccionar e executar simulações de cenas envolvendo IHM. Também, a aplicação demanda, como entrada, um modelo conceitual de contexto, o qual descreve as relações bases existentes nos cenários de IHM. Assim, realiza o processamento dessa entrada, e em conjunto com os dados consumidos do simulador, é capaz de instanciar os indivíduos e suas respectivas relações através de um modelo de agente reativo, utilizando para isso o *framework* Apache Jena.

Neste contexto, utilizando a aplicação desenvolvida, conforme apresentado no Capítulo 6, foram criados quatro cenários simulados, contendo diferentes situações de riscos. Para a avaliação dos resultados das análises dos riscos nos cenários propostos, foram estabelecidos os seguintes requisitos: verificar se a ontologia OAR-IHM atende os requisitos para a descrição dos cenários e dos riscos; e, se os riscos foram identificados.

Portanto, a ontologia de aplicação OAR-IHM proposta se mostrou capaz de descrevê-los, mesmo sendo cenários contendo diferentes tipos de riscos em um ambiente de IHM, e possibilitou formas de realizar consultas para obter o tipo de risco, e demais informações, como causa, consequência, dano sofrido ao colaborador, parte do corpo machucada, nível do dano, o qual definido baseado no risco do cenário. Além disso, a aplicação implementada ofereceu formas viáveis de realizar os experimentos, ao integrar a ontologia OAR-IHM junto ao simulador CoppeliaSim, permitindo coletar dados próximos ao de uma situação real. Portanto, a aplicação é capaz de gerar instâncias do mundo na ontologia OAR-IHM e realizar consultas para obter a avaliação de riscos. Neste contexto, essa funcionalidade permite fácil extensão para que a aplicação seja utilizada em novos cenários de riscos característicos de IHM.

Além disso, os resultados dos experimentos nos diferentes cenários de IHM, mostraram que a ontologia OAR-IHM fornece descrição semântica suficiente para identificar os diferentes conceitos de riscos, não somente os de eventuais colisões, como se há ou não colisão, mas também como níveis de danos ocasionados por cada risco e composição de situações de riscos diferentes. Desta forma, entende-se que o objetivo principal do presente trabalho foi atingido. Sendo que, para cada cenário criado no simulador CoppeliaSim, um de modelo conceitual do contexto é

confeccionado, instanciando os indivíduos utilizando as classes e relações da ontologia OAR-IHM apresentada no Capítulo 4. Assim, a partir do modelo conceitual e do cenário de IHM, e através das etapas apresentadas no Capítulo 5, a Aplicação Semântica foi capaz de instanciar todos os indivíduos presentes na cena, com um nível de descrição suficiente para obter as avaliações de riscos, conforme estudos apresentados no Capítulo 6.

Por fim, como sugestão de potenciais melhorias e trabalhos futuros, há a possibilidade de extensão da ontologia de aplicação proposta, permitindo maior descrição de diferentes cenários e do papel exercido pelo colaborador no ambiente compartilhado. Bem como a possibilidade de inserir descrições relacionadas ao uso de equipamentos de proteção individuais, permitindo a descrição de formas de mitigar os riscos baseados em seu uso. Há também a integração com as ontologias relacionadas aos aspectos da saúde do trabalhador de modo a avaliar os riscos físicos associados às tarefas executadas.

Outro cenário para trabalhos futuros é o uso desta abordagem de avaliação dos riscos em cenários de IHM no contexto do Digital Twins. Por fim, é sugerido também a aplicação e adequação da ontologia em cenários de IHM colaborativos reais.

## REFERÊNCIAS

- A-IHamouz, S.; El-Omari, N.; Al-Naimat, A.: "An ISO Compliant Safety System for Human Workers in Human-Robot Interaction Work Environment," 2019 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), Kazan, Russia, 2019, pp. 9-14.
- Avanzini, G.B.; Ceriani, N.M.; Zanchettin, A.M.; Rocco, P.; Bascetta, L.: "Safety Control of Industrial Robots Based on a Distributed Distance Sensor". IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 22, no. 6, pp. 2127-2140, 2014.
- Badri, A.; Boudreau-Trudel, B.; Saâdeddine, A.: Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern. Safety Science, Volume 109, 2018, pp 403-411.
- Belouaer, L.; Bouzid, M.; Mouaddib, A.: "Ontology Based Spatial Planning for Human-Robot Interaction," 2010 17th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning, Paris, 2010, pp. 103-110.
- Cagnin, R. et. al. "A Multi-agent System Approach for Management of Industrial IoT Devices in Manufacturing Processes," 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2018, pp. 31-36
- Chan, C.; Tsai, C.: "Collision-Free Speed Alteration Strategy for Human Safety in Human-Robot Coexistence Environments," in IEEE Access, vol. 8, pp. 80120-80133, 2020
- Chi, N.; Lin, K.; Hsieh, S.: Using ontology-based text classification to assist Job Hazard Analysis. Advanced Engineering Informatics. Volume 28, Issue 4. 2014. pp 381-394.
- Compton, M et. al. "The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group," Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, vol. 17, pp. 25–32, Dec. 2012.
- Dolganov, A.; Letnev, K.: "Securing Interaction Between Human and Robot Using Expert Control System," 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2020, pp. 1-5.



Dohi, M et. al, "Proposal of Collaboration Safety in a Coexistence Environment of Human and Robots," 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2018, pp. 1924-1930

El Asikri, M.; Laassiri, J.; Krit, S.; Chaib, H.: Contribution to ontologies building using the semantic web and web mining. International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS), 2016.

Ericson, C. A.: Hazard Analysis Techniques for System Safatey, 1e.d, Wiley-Interscience, 2005.

Escobedo, P; Paúl, E: Modelagem de contexto utilizando ontologias. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008. Dissertação de Mestrado em Sistemas Eletrônicos. [acesso 2019-11-04].

Farfeleder, S.; Moser, T.; Krall, A.; Stålhane, T.; Omoronyia, I.; Zojer, H.: Ontology-Driven Guidance for Requirements Elicitation. In: Antoniou G. et al. (eds) The Semantic Web: Research and Applications. ESWC 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol 6644. Springer, Berlin, Heidelberg.

Fuentes-Bargues, J. et al. "Risk Analysis of a Fuel Storage Terminal Using HAZOP and FTA." International journal of environmental research and public health vol. 14,7 705. 30 Jun. 2017.

Guiochet, J.: Hazard analysis of human-robot interactions with HAZOP-UML. Safety Science, vol. 84, 2016, pp. 225-237.

Goetsch, D. L.: Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers, and Managers, 9<sup>th</sup>. Ed. Pearson. 2019.

Khan, J. A.; Kumar, S.: Deep analysis for development of RDF, RDFS and OWL ontologies with protege. Proceedings of 3rd International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization, 2014.

Kuraoka, K. Batres, R.: "An Ontological Approach to Represent HAZOP Information". Process Systems Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology, 2003.

Lawrynowicz, A; Lawniczak, I.: The Hazardous Situation Ontology Design Pattern. Proceedings of the 6th Workshop on Ontology and Semantic Web Patterns (WOP 2015) co-located with the 14th International Semantic Web Conference (ISWC 2015), Bethlehem, Pennsylvania, USA, 2015, volume 1461.

Lawrynowicz, A. Lawniczak, I. *"Towards a Core Ontology of Occupational Safety and Health"*, OWLED, 2016.

Lippi, M.; Marino, A.: "Human Multi-Robot Safe Interaction: A Trajectory Scaling Approach Based on Safety Assessment," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2020, pp. 1-16.

Liu, F.; Li, G.: The Extension of Domain Ontology Based on Text Clustering. 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2018.

Luo, R.; Mai, L.: Human Intention Inference and On-Line Human Hand Motion Prediction for Human-Robot Collaboration. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). 2019.

Mayer, N.; Heymans, P.; Matulevicius, R.: Design of a Modelling Language for Information System Security Risk Management., in Colette Rolland; Oscar Pastor & Jean-Louis Cavarero, ed., 'RCIS', 2007, pp. 121-132.

Mokos, K.; Meditskos, G.; Katsaros, P.; Bassiliades, N.; Vasiliades, V.: Ontology-Based Model Driven Engineering for Safety Verification. 2010 36th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications, 2010.

Moreno-Trejo, J.; Heras, E.; Markeset, T.: "Using the HAZOP analysis in the maintenance, modifications and installation of subsea petroleum production systems," 2013 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), Orlando, FL, 2013, pp. 1-6.

Noy, N; McGuinness, D.: D. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.

Podgórski, D; Majchrzycka, K; Dąbrowska, A; Gralewicz, G; Okrasa, M: Towards a conceptual framework of OSH risk management in smart working environments based on smart PPE, ambient intelligence and the Internet of Things technologies, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23:1, 1-20, 2017.

Provenzano, L; Hänninen, K; Zhou, J; Lundqvist, K.: "An Ontological Approach to Elicit Safety Requirements," 2017 24th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC), Nanjing, 2017, pp. 713-718.

Redavid, D., Corizzo, R., & Malerba, D.: An OWL Ontology for Supporting Semantic Services in Big Data Platforms. *IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)*, 2018.

Robla-Gómez, S.; Becerra, V.; Llata, J.R.; Gonzáles-Sarabia, E.; Torre-Ferrero, C.; Pérez-Oria, J.: Working Together: A review on Safe Human-Robot Collaboration in Industrial Environments, *IEEE*, vol. 5. pp. 26754-26773, 2017.

Rosenstrauch, M.; Krüger, J.: "Safe human-robot-collaboration-introduction and experiment using ISO/TS 15066," 2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), Nagoya, 2017, pp. 740-744.

Rosenstrauch, M.; Krüger, J.: "Safe human robot collaboration — Operation area segmentation for dynamic adjustable distance monitoring," 2018 4th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR), Auckland, 2018, pp. 17-21

RUSSEL, S.; NORVIG, P.; *Inteligência Artificial*. Ed. GEN LTC, Terceira Edição, 2013.

Saeed, M. R.; Chelmiss, C.; Prasanna, V.; Thigpen, B.; House, R.; Blouin, J.: *Semantic Web Technologies for External Corrosion Detection in Smart Oil Fields*. Society of Petroleum Engineers. 2015. 10.2118/174042-MS.

Tan, X. C.; Yew, K. H.; Low, T. J.: "Ontology design for process safety management," 2012 International Conference on Computer & Information Science (ICCIS), Kuala Lumpur, 2012, pp. 114-119.

Teimourikia, M; Fugini, M.: *Ontology Development for Run-Time Safety Management Methodology in Smart Work Environments Using Ambient Knowledge*. *Future Generation Computer Systems*, 68, 2016.

Thoben, K.; Wiesner, S.; Wuest, T.: "Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. *International Journal of Automation Technology*. Vol 11, p4-16, 2017.

Umbrico, A; Orlandini, A; Cesta A.: "An Ontology for Human-Robot Collaboration", *Procedia CIRP*, Volume 93, 2020, pp 1097-1102.

Uschold, M; Ding, Y; Growth, P.: "Demystifying OWL for the Enterprise," in *Demystifying OWL for the Enterprise*, Morgan & Claypool, 2018.

Wu, C.; Xu, X.; Zhang, B.; Na, Y.: *Domain ontology for scenario-based hazard evaluation*, *Safety Science*, Volume 60, 2013, pp 21-34.

W3C. *Semantic Sensor Network*. OGC W3C. Disponível em: < <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/> >. Acesso em: dezembro de 2021.

Zaletelj, V. et al.: *A foundational ontology for the modelling of manufacturing systems*. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 38, pp. 129-141. 2018.

Zhou, J; Hänninen, K; Lundqvist, K: "A Hazard Modeling Language for Safety-Critical Systems Based on the Hazard Ontology," 2017 43rd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), Vienna, 2017, pp. 301-304.

Zhou, J. "*An ontological approach to safety analysis of safety-critical systems*". 2017. These (PhD) - *Akademin för innovation, design och Teknik, Mälardalen University Sweden*. Suíça.